

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-307195

(43)Date of publication of application : 02.11.2000

(51)Int.Cl.

H01S 5/343

(21)Application number : 11-110548

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 19.04.1999

(72)Inventor : SATO SHUNICHI
TAKAHASHI TAKASHI
JIKUTANI NAOTO

(30)Priority

Priority number : 11035455

Priority date : 15.02.1999

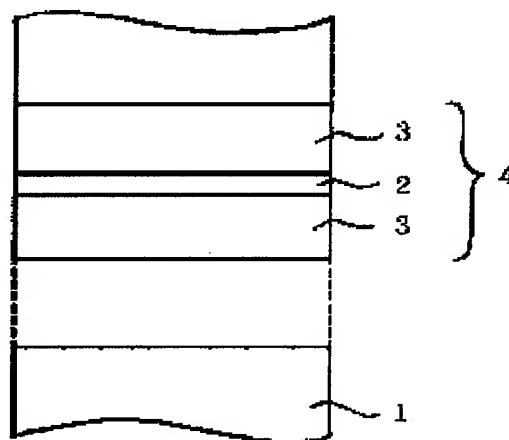
Priority country : JP

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor light emitting element, such as a high-output red semiconductor laser which stably oscillates in 635-nm band, 650-nm band, etc., at a high temperature, a visible semiconductor laser which oscillates at a wavelength shorter than 600 nm at a room temperature, a visible light emitting diode having a high luminous efficiency, etc.

SOLUTION: The active layer 2 of a semiconductor light emitting element is composed of $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}_{1-t}\text{As}_t$ ($0 \leq x < 1$, $0 < \alpha \leq 1$, $0 \leq t < 1$) and the clad layers 3 of the element are composed of $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}_v\text{As}_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$) having a band gap larger than that of the active layer 2 and containing Al having a lattice constant between those of GaP and GaAs.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-307195

(P2000-307195A)

(43) 公開日 平成12年11月2日 (2000.11.2)

(51) Int.Cl.⁷

H01S 5/343

識別記号

F I

H01S 3/18

テームコード* (参考)

677 5F073

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平11-110548

(22) 出願日 平成11年4月19日 (1999.4.19)

(31) 優先権主張番号 特願平11-35455

(32) 優先日 平成11年2月15日 (1999.2.15)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 佐藤 俊一

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
会社リコー内

(72) 発明者 高橋 孝志

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
会社リコー内

(74) 代理人 100090240

弁理士 植本 雅治

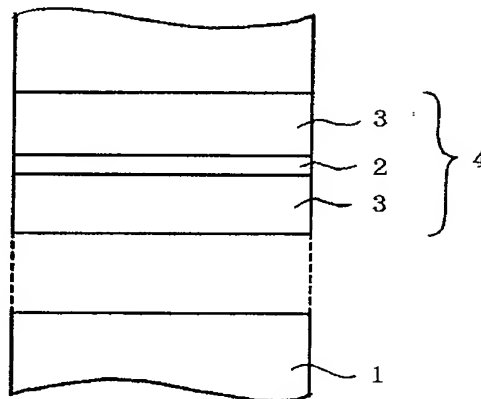
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどの半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 活性層2は $(Al_xGa_{1-x})_{1-\alpha}In_{1-\alpha}P_{1-\alpha}As_{1-\alpha}$ ($0 \leq x < 1$ 、 $0 < \alpha \leq 1$ 、 $0 \leq t \leq 1$) からなり、クラッド層3は活性層2よりバンドギャップが大きく、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_{1-\beta}In_{1-\beta}P_{1-\beta}As_{1-\beta}$ ($0 < y \leq 1$ 、 $0.5 < \beta < 1$ 、 $0 < v \leq 1$) からなっている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じ込めるクラッド層とを有するヘテロ接合が形成されている半導体発光素子において、活性層は $(Al_xGa_{1-x})_aIn_{1-a}PtAs_{1-t}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < \alpha \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$) からなり、クラッド層は活性層よりバンドギャップが大きくGaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$) からなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じ込めるクラッド層とを有するヘテロ接合が形成されている半導体発光素子において、活性層は $(Al_xGa_{1-x})_aIn_{1-a}PtAs_{1-t}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < \alpha \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$) 単一量子井戸からなり、クラッド層は活性層よりバンドギャップが大きく、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$) からなり、活性層とクラッド層との間に、バンドギャップが活性層より大きくクラッド層より小さい $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($0 \leq z < 1$, $0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$) からなる光ガイド層を有していることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項3】 半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じ込めるクラッド層とを有するヘテロ接合が形成されている半導体発光素子において、活性層は井戸層と障壁層とで構成される量子井戸構造であり、井戸層は $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{a1}In_{1-a1}PtAs_{1-t1}$ ($0 \leq x1 < 1$, $0 < \alpha1 \leq 1$, $0 \leq t1 \leq 1$) からなり、障壁層は $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{a2}In_{1-a2}PtAs_{1-t2}$ ($0 \leq x2 < 1$, $0.5 < \alpha2 < 1$, $0 \leq t2 \leq 1$) からなり、クラッド層は活性層よりバンドギャップが大きく、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$) からなり、活性層とクラッド層との間に、バンドギャップが活性層より大きくクラッド層より小さい $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($0 \leq z < 1$, $0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$) からなる光ガイド層を有していることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、活性層はAsを含んでいる $(Al_xGa_{1-x})_aIn_{1-a}PtAs_{1-t}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < \alpha1 \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$) からなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項5】 請求項2乃至請求項4のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、光ガイド層はAlを含

まない $Ga_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$) からなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項6】 請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、クラッド層はAsを含んでいる $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v < 1$) からなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項7】 請求項2乃至請求項6のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、井戸層の格子定数は、クラッド層より大きく、圧縮歪を有していることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項8】 請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、半導体基板はGaPAsからなり、該半導体基板上にヘテロ接合部が結晶成長されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項9】 請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、半導体基板はGaAsまたはGaPからなり、半導体基板とクラッド層との間に、両者の格子不整を緩和する緩和バッファ層を介してヘテロ接合部が結晶成長されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項10】 請求項9記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、その格子定数が半導体基板の格子定数から成長方向に徐々に変化してクラッド層の格子定数に近づくグレーデッド層からなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項11】 請求項9記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は少なくとも2種類の格子定数の違う材料を交互に積層した歪超格子構造からなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項12】 請求項9記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層はクラッド層の成長温度より低い温度で成長した低温バッファ層からなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項13】 請求項9乃至請求項12のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、GaInPまたはGaPAsからなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項14】 請求項8または請求項9記載の半導体発光素子において、半導体基板の面方位は、(100)面から[011]方向に 0° から 54.7° の範囲で傾いた面、または、(100)面から[0-11]方向に 10° から 54.7° の範囲で傾いた面、または、これらと等価な面であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項15】 請求項8または請求項9記載の半導体発光素子において、ヘテロ接合部が結晶成長されるに先立って、GaPAs基板表面が機械的研磨により平坦化され、または、緩和バッファ層成長後であってヘテロ接合部が結晶成長される前の表面が機械的研磨により平坦

化されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項16】 請求項8または請求項9記載の半導体発光素子において、半導体基板とヘテロ接合部との間に、層の界面の上面が下面(基板側)よりも平坦である層を含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項17】 請求項16記載の半導体発光素子において、層の界面の上面が下面(基板側)より平坦である層は、 Se を $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブしたGaInPであることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項18】 請求項9記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、 Se を $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブしたGaInPであることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項19】 請求項1乃至請求項18のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、ヘテロ接合部は有機金属気相成長法または分子線エピタキシー法により成長されたものであることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項20】 請求項19記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、有機金属気相成長法または分子線エピタキシー法により成長されたものであることを特徴とする半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】AlGaInP系材料は、AlGaInN系材料およびB(ボロン)系材料を除きIII-V族半導体のなかで最も大きい直接遷移型の材料であり、バンドギャップエネルギーは最大で約2.3eV(波長540nm)が得られる。このため、従来よりカラーディスプレイ等に用いられる高輝度緑色～赤色発光ダイオード等の発光素子や、レーザプリンタ、CD、DVD等の光書き込み用等に用いられる可視光半導体レーザの材料として研究開発が行なわれている。これらの中で、特に、半導体レーザには、GaAs基板に格子整合する材料が用いられている。特に高密度記録等のためには高温高出力安定動作し、かつ短波長である素子が必要となっている。

【0003】半導体レーザを作製するためには、クラッド層(活性層よりバンドギャップの大きい材料からなる)を用い、キャリアと光を活性層(発光層)に閉じ込める構造が必要である。通常バルク活性層のダブルヘテロ(DH)構造で短波長にする場合は活性層にはAlが添加されたAlGaInPを用いる必要がある。Alの添加はバンドギャップを大きくする効果があるが、Alが非常に活性なため、成長中、雰囲気内や原料内のわずかな酸素等と結合してディープレベルを形成し発光効率の低下を招きやすいので、Al組成は小さい方が好ましい。そこで、発振波長を短波長化する他の方法として、活性

層(井戸層)にはGaInP量子井戸構造を用い、光ガイド層としてAlGaInPを用いたSCH-QW (Separate Confinement Heterostructure-Quantum Well)とする方法が行われている。さらに、低閾値化するために、特開平6-77592号に示されるように、量子井戸層に歪を加えた歪量子井戸構造が通常用いられている。この場合、歪量子井戸層の格子定数は基板と異なるので、格子緩和が起こる臨界膜厚以下の厚さを用いることができる。また、635nm帯のような短波長レーザには歪の種類として引張り歪の方が有効であることが特開平6-275915号に示されている。引張り歪井戸層は、基板であるGaAsに対してGaPに近い組成のGaInPとなるので、ワイドギャップとなり圧縮歪井戸層に対して井戸層として適正な厚さの井戸層を用いることができ、界面の悪影響を低減できることが大きな理由と考えられる。ただし、引張り歪井戸層を用いると、TMモードとなるため、他の波長帯の通常の半導体レーザ(TEモード)と偏光が90°違ってくるので、その利用には注意が必要である。

【0004】しかしながら、 $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 光ガイド層には光が閉じ込められるが、Al組成xが通常0.5程度と大きいので、レーザの共振器面となる端面でのAlに起因する表面再結合により端面破壊が起こりやすく高出力を出すことが困難であり、長時間安定動作させるのも困難であった。

【0005】また、AlGaInP系ヘテロ接合を形成すると、伝導帯のバンドオフセット比が小さく、活性層(発光層)とクラッド層の伝導帯側のバンド不連続(ΔEc)が小さいので、注入キャリア(電子)が活性層からクラッド層にオーバーフローしやすく半導体レーザの発振閾値電流の温度依存性が大きく、温度特性が悪いなどの問題があった。この問題は波長が短波長になるほど顕著になる。例えば635nm帯、650nm帯の赤色レーザと比較すると、わずかな波長差であるにもかかわらず635nm帯レーザの高温特性は圧倒的に悪い。

【0006】このような問題を解決するため、活性層とクラッド層との間に、非常に薄い層を多数積層した多重量子障壁(MQB)構造を設け、注入キャリアを閉じ込める構造が特開平4-114486号に提案されている。しかし、この場合には、構造が複雑となるうえ、効果を得るためには厚さの制御を良くし、各層の界面を原子層レベルで平坦にする必要があり、現実にはその効果を得ることは困難であった。

【0007】このように、従来のGaAs基板格子整合系材料では、温度特性および短波長化には限界があり、高温(例えば80°)、高出力(例えば30mW以上)、安定動作(例えば一万時間)する635nm帯またはそれより短波長のレーザの実現は困難であった。上記のように、GaAsより格子定数が小さいAlGaInP系材料は、GaAs基板上に成長できる材料に比べ

てワイドギャップなので、短波長化に有利である。このような他の材料系を用いた発振波長600nm以下の短波長レーザの提案がなされている。例えば、GaP基板上に、クラッド層として $Al_yGa_{1-y}P$ ($0 \leq y \leq 1$)を用い、活性層として直接遷移型の圧縮歪 $Ga_xIn_{1-x}P$ ($0 < x < 1$)を用い、活性層にはアイソエレクトロニックトラップ (Isoelectronic trap) の不純物としてNをドーブした素子が特開平6-53602号に提案されている。しかしながら、この構造は、活性層のAl含有量が少ない材料を用いて短波長化できるとい

うメリットがあるが、最もGaPに格子定数が近くて直接遷移となる $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ 活性層においてもGaP基板と2.3%格子不整合しており、格子不整合に起因するミスフィット転位が発生しない臨界膜厚が薄くなってしまうので、実用上好ましくない。

【0008】また、GaAs基板上にGaAsとGaPとの間の格子定数を有する $(AlGa)_aIn_{1-a}P$ ($0.51 < a \leq 0.73$) からなるダブルヘテロ構造体を、これに格子整合する GaP_xAs_{1-x} バッファ層などを介して形成する素子が特開平5-41560号に提案されている。この技術では、バッファ層により基板とダブルヘテロ構造体の格子不整合を解消している。図1に格子定数とバンドギャップエネルギーとの関係を示す。図1において、実線は直接遷移の材料、破線は間接遷移の材料である。GaAsとGaPとの間の格子定数を有する $(AlGa)_aIn_{1-a}P$ ($0.51 < a \leq 0.73$) 系材料はAlInPとGaInPとで囲まれた範囲の材料である。この技術では、GaAs基板格子整合材料よりワイドギャップのAlGaInPをクラッド層と活性層に用いることができるので、600nmより短い波長のレーザなど短波長化に有利であることがわかる。しかしながら、特開平5-41560号に提案されているレーザは、600nmより短い波長のレーザを実現するための構造からなり、635nm、650nm帯等の600nmより長い波長のレーザを考慮した構造ではなかった。例えば、バンドギャップの格子定数依存性は、間接遷移材料であるAlInPよりもGaInPの方が、直接遷移であるGa組成が0.73までの範囲では大きいことがわかる。クラッド層にはワイドギャップ材料が適しているので、GaPの格子定数に近い格子定数のAl(Ga)InPを用いた方がよいが、逆に、635nm、650nm帯の活性層の材料となる $(Al)GaInP$ の格子定数は、クラッド層のそれとは大きくずれてしまい、大きな圧縮歪を有し、好ましくないなど不十分であった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオ

ードなどの半導体発光素子を提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じ込めるクラッド層とを有するヘテロ接合が形成されている半導体発光素子において、活性層は $(Al_xGa_{1-x})_aIn_{1-a}PtAs_{1-t}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < a \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$) からなり、クラッド層は活性層よりバンドギャップが大きくGaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$) からなることを特徴としている。

【0011】また、請求項2記載の発明は、半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じ込めるクラッド層とを有するヘテロ接合が形成されている半導体発光素子において、活性層は $(Al_xGa_{1-x})_aIn_{1-a}PtAs_{1-t}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < a \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$) 単一量子井戸からなり、クラッド層は活性層よりバンドギャップが大きく、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$) からなり、活性層とクラッド層との間に、バンドギャップが活性層より大きくクラッド層より小さい $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($0 \leq z < 1$, $0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$) からなる光ガイド層を有していることを特徴としている。

【0012】また、請求項3記載の発明は、半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じ込めるクラッド層とを有するヘテロ接合が形成されている半導体発光素子において、活性層は井戸層と障壁層とで構成される量子井戸構造であり、井戸層は $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{a1}In_{1-a1}PtAs_{1-t1}$ ($0 \leq x1 < 1$, $0 < a1 \leq 1$, $0 \leq t1 \leq 1$) からなり、障壁層は $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{a2}In_{1-a2}PtAs_{1-t2}$ ($0 \leq x2 < 1$, $0.5 < a2 < 1$, $0 \leq t2 \leq 1$) からなり、クラッド層は活性層よりバンドギャップが大きく、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$) からなり、活性層とクラッド層との間に、バンドギャップが活性層より大きくクラッド層より小さい $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($0 \leq z < 1$, $0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$) からなる光ガイド層を有していることを特徴としている。

【0013】また、請求項4記載の発明は、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、活性層はAsを含んでいる $(Al_xGa_{1-x})_aIn_{1-a}PtAs_{1-t}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < a1 \leq$

1、 $0 \leq t \leq 1$)からなることを特徴としている。

【0014】また、請求項5記載の発明は、請求項2乃至請求項4のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、光ガイド層はAlを含まない $Ga_{\gamma}In_{1-\gamma}P_{u}As_{1-u}$ ($0.5 < \gamma < 1$ 、 $0 < u \leq 1$)からなることを特徴としている。

【0015】また、請求項6記載の発明は、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、クラッド層はAsを含んでいる $(Al_{\gamma}Ga_{1-\gamma})_{\beta}In_{1-\beta}P_{\nu}As_{1-\nu}$ ($0 < \gamma \leq 1$ 、 $0.5 < \beta < 1$ 、 $0 < \nu < 1$)からなることを特徴としている。

【0016】また、請求項7記載の発明は、請求項2乃至請求項6のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、井戸層の格子定数は、クラッド層より大きく、圧縮歪を有していることを特徴としている。

【0017】また、請求項8記載の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、半導体基板はGaPAsからなり、該半導体基板上にヘテロ接合部が結晶成長されていることを特徴とし

ている。

【0018】また、請求項9記載の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、半導体基板はGaAsまたはGaPからなり、半導体基板とクラッド層との間に、両者の格子不整を緩和する緩和バッファ層を介してヘテロ接合部が結晶成長されていることを特徴としている。

【0019】また、請求項10記載の発明は、請求項9記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、その格子定数が半導体基板の格子定数から成長方向に徐々に変化してクラッド層の格子定数に近づくグレーデッド層からなることを特徴としている。

【0020】また、請求項11記載の発明は、請求項9記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は少なくとも2種類の格子定数の違う材料を交互に積層した歪超格子構造からなることを特徴としている。

【0021】また、請求項12記載の発明は、請求項9記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層はクラッド層の成長温度より低い温度で成長した低温バッファ層からなることを特徴としている。

【0022】また、請求項13記載の発明は、請求項9乃至請求項12のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、GaInPまたはGaPAsからなることを特徴としている。

【0023】また、請求項14記載の発明は、請求項8または請求項9記載の半導体発光素子において、半導体基板の面方位は、(100)面から[011]方向に 0° から 54.7° の範囲で傾いた面、または、(100)面から[0-11]方向に 10° から 54.7° の範囲で傾いた面、または、これらと等価な面であることを特徴とし

ている。

【0024】また、請求項15記載の発明は、請求項8または請求項9記載の半導体発光素子において、ヘテロ接合部が結晶成長されるに先立って、GaPAs基板表面が機械的研磨により平坦化され、または、緩和バッファ層成長後であってヘテロ接合部が結晶成長される前の表面が機械的研磨により平坦化されていることを特徴としている。

【0025】また、請求項16記載の発明は、請求項8または請求項9記載の半導体発光素子において、半導体基板とヘテロ接合部との間に、層の界面の上面が下面(基板側)よりも平坦である層を含むことを特徴としている。

【0026】また、請求項17記載の発明は、請求項16記載の半導体発光素子において、層の界面の上面が下面(基板側)より平坦である層は、Seを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブしたGaInPであることを特徴としている。

【0027】また、請求項18記載の発明は、請求項9記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、Scを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブしたGaInPであることを特徴としている。

【0028】また、請求項19記載の発明は、請求項1乃至請求項18のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、ヘテロ接合部は有機金属気相成長法または分子線エピタキシー法により成長されたものであることを特徴としている。

【0029】また、請求項20記載の発明は、請求項19記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、有機金属気相成長法または分子線エピタキシー法により成長されたものであることを特徴としている。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図2は本発明に係る半導体発光素子の構成例を示す図である。図2を参照すると、この半導体発光素子は、GaAsの半導体基板1上に、光を発生する活性層2と光を閉じ込めるクラッド層3とを有するヘテロ接合部4が形成されている。

【0031】ここで、本発明の第1の実施形態では、活性層2は $(Al_xGa_{1-x})_{1-t}In_{1-a}PtAs_{1-u}$ ($0 \leq x < 1$ 、 $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq t \leq 1$)からなり、クラッド層3は活性層2よりバンドギャップが大きく、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_{\gamma}Ga_{1-\gamma})_{\beta}In_{1-\beta}P_{\nu}As_{1-\nu}$ ($0 < \gamma \leq 1$ 、 $0.5 < \beta < 1$ 、 $0 < \nu \leq 1$)からなっている。

【0032】この第1の実施形態では、クラッド層3は、GaPとGaAsの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_{\gamma}Ga_{1-\gamma})_{\beta}In_{1-\beta}P_{\nu}As_{1-\nu}$ ($0 < \gamma \leq 1$ 、 $0.5 < \beta < 1$ 、 $0 < \nu \leq 1$)であり、Ga

As 半導体基板1に形成できるクラッド層材料よりバンドギャップが大きく短波長化に有利である。また、活性層2は $(Al_xGa_{1-x})_aIn_{1-a}P_{1-t}As_{1-t}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < a \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$)からなるので、クラッド層3に対して歪みを有することもでき、さらに従来材料よりエネルギーギャップを狭いもの(ナローギャップ)にすることもできる。このため、従来より素子設計の幅が大きく広がり、600nmより短い波長のみならず、600nmより長い波長の発光素子においても良好な特性を得ることができる。

【0033】また、本発明の第2の実施形態では、図2の半導体発光素子において、活性層2は $(Al_xGa_{1-x})_aIn_{1-a}P_{1-t}As_{1-t}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < a \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$)単一量子井戸からなり、クラッド層3は活性層2よりバンドギャップが大きくGaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}P_{1-v}As_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$)からなり、ヘテロ接合部4において、活性層2とクラッド層3との間には、図3に示すように、バンドギャップが活性層2より大きくクラッド層3より小さい $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}P_{1-u}As_{1-u}$ ($0 \leq z < 1$, $0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$)からなる光ガイド層5が設けられている。

【0034】この第2の実施形態では、クラッド層3はGaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}P_{1-v}As_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$)であり、GaAs半導体基板1に形成できるクラッド層材料よりバンドギャップが大きく短波長化に有利である。また、 $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}P_{1-u}As_{1-u}$ ($0 \leq z < 1$, $0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$)からなる光ガイド層5および $(Al_xGa_{1-x})_aIn_{1-a}P_{1-t}As_{1-t}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < a \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$)からなる単一量子井戸の活性層2によりSCH構造を形成しているので、GaAs基板格子整合材料より少ないAl組成でワイドギャップが得られるようになり、従来に比べて光ガイド層5のAl組成を低減でき、非発光再結合電流の低減、表面再結合電流の低減等により、発光効率を向上させることができ、レーザの場合、端面劣化しにくくなり、高出力でも安定動作が可能となる。また、クラッド層3に対して歪みを有することもでき、さらに従来材料よりエネルギーギャップを狭くする(ナローギャップにする)こともできる。さらに、GaInPはGa組成を小さくすると格子定数が大きくなるとともにバンドギャップは小さくなる。Sandip等(Appl. Phys. Lett. 60, 1992, pp630~632)によるバンド不連続の見積もりを参考にすると、バンドギャップの変化は伝導帯側で起こり、価電子帯側のエネルギーはほとんど変化していない。つまり、組成を変えても価電子帯のエネルギーの変化は小さい。一方、

GaInPへAlを添加すると、伝導帯エネルギーは大きくなり価電子帯エネルギーは小さくなる。その変化は価電子帯側の方が大きい。従来、GaAs基板上構造では、大きなAl組成のAlGaInPを光ガイド層にする必要があり、GaInP量子井戸層との間に大きな価電子帯側のバンド不連続を有していた。つまり、伝導帯側のバンド不連続は十分な大きさではなかった。これに対し、本発明の第2の実施形態によれば、光ガイド層5のAl組成を低減できるので、大きな伝導帯バンド不連続が得られる。これにより、従来AlGaInP系材料による赤色レーザで問題であった伝導帯側のバンド不連続が小さいためのキャリア(電子)オーバーフローを著しく改善することができる。このため、従来より素子設計の幅が大きく広がるので、600nmより短い波長のみならず、600nmより長い波長の発光素子においても良好な特性を得ることができる。

【0035】また、本発明の第3の実施形態では、図2の半導体発光素子において、ヘテロ接合部4の活性層2は、井戸層と障壁層とで構成される量子井戸構造であり、井戸層は $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{a1}In_{1-a1}P_{1-t1}As_{1-t1}$ ($0 \leq x1 < 1$, $0 < a1 \leq 1$, $0 \leq t1 \leq 1$)からなり、障壁層は $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{a2}In_{1-a2}P_{1-t2}As_{1-t2}$ ($0 \leq x2 < 1$, $0.5 < a2 < 1$, $0 \leq t2 \leq 1$)からなり、クラッド層3は活性層2よりバンドギャップが大きく、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}P_{1-v}As_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$)からなり、ヘテロ接合部4において、活性層2とクラッド層3との間には、図3に示したと同様に、バンドギャップが活性層2より大きくクラッド層3より小さい $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}P_{1-u}As_{1-u}$ ($0 \leq z < 1$, $0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$)からなる光ガイド層5が設けられている。

【0036】この第3の実施形態では、クラッド層3は、GaPとGaAsの間の格子定数を有するAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}P_{1-v}As_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v \leq 1$)であり、GaAs半導体基板1に形成できるクラッド層材料よりバンドギャップが大きく、短波長化に有利である。また、 $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}P_{1-u}As_{1-u}$ ($0 \leq z < 1$, $0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$)からなる光ガイド層5、および、 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{a1}In_{1-a1}P_{1-t1}As_{1-t1}$ ($0 \leq x1 < 1$, $0 < a1 \leq 1$, $0 \leq t1 \leq 1$)からなる量子井戸と $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{a2}In_{1-a2}P_{1-t2}As_{1-t2}$ ($0 \leq x2 < 1$, $0 < a2 \leq 1$, $0 \leq t2 \leq 1$)からなる障壁層によりSCH構造を形成しているので、従来に比べて光ガイド層5のAl組成を低減でき、非発光再結合電流の低減、表面再結合電流の低減等により発光効率を向上さ

せることができ、レーザの場合、端面劣化しにくくなり、高出力でも安定動作が可能となる。また、クラッド層3に対して井戸層に歪みを有することもでき、障壁層の歪みの方向を井戸層と反対方向とすることで井戸層の歪みを補償して良好な量子井戸構造を得ることもできる。また、多重量子井戸構造とすることでキャリアを十分に井戸層に閉じ込めることが可能となる。また、従来材料よりエネルギーギャップを狭くする(ナローギャップにする)こともできる。さらに、GaInPは、Ga組成を小さくすると、格子定数が大きくなるとともにバンドギャップは小さくなる。Sandipら(Appl. Phys. Lett. 60, 1992, pp 630~632)によるバンド不連続の見積もりを参考にと、バンドギャップの変化は伝導帯側で起こり価電子帯側のエネルギーはほとんど変化していない。つまり、組成を変えても価電子帯のエネルギーの変化は小さい。一方、GaInPへAlを添加すると、伝導帯エネルギーは大きくなり価電子帯エネルギーは小さくなる。その変化は価電子帯側の方が大きい。従来、GaAs基板上構造では大きなAl組成のAlGaInPを光ガイド層にする必要があり、GaInP量子井戸層との間に大きな価電子帯側のバンド不連続を有していた。つまり、伝導帯側のバンド不連続は充分な大きさではなかった。これに対し、本発明の第3の実施形態によれば、光ガイド層5のAl組成を低減できるので、大きな伝導帯バンド不連続が得られる。これにより、従来AlGaInP系材料による赤色レーザで問題であった伝導帯側のバンド不連続が小さいためのキャリア(電子)オーバーフローを著しく改善することができ、低閾値で温度特性は良好であった。このため、従来より素子設計の幅が大きく広がるので、600nmより短い波長のみならず、600nmより長い波長の発光素子においても、良好な特性を得ることができる。

【0037】また、本発明の第4の実施形態では、上記第1、第2または第3の実施形態の半導体発光素子において、活性層2は、Asを含んでいる $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P_zAs_{1-z}$ ($0 \leq x < 1$, $0 < \alpha \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$)からなっている。

【0038】この第4の実施形態では、Asの添加はバンドギャップを小さくするので、格子定数がGaPに近く大きなバンドギャップであるクラッド層3を用いた場合でも、635nm、650nm帯等の600nmより長波長の素子に対応できる。すなわち、従来のGaAs半導体基板上の635nm、650nm帯の素子に比べて大きなバンドギャップのクラッド層3となり、キャリアのオーバーフローが低減され、高温安定動作など良好な素子特性を得ることができる。

【0039】また、本発明の第5の実施形態では、上記第2、第3または第4の実施形態の半導体発光素子において、光ガイド層5は、Alを含まないGaIn

$1-\gamma PuAs_{1-u}$ ($0.5 < \gamma < 1$, $0 < u \leq 1$)からなっている。

【0040】この第5の実施形態は、格子定数がGaAsより小さくなるとバンドギャップが大きくなり、同じバンドギャップの材料を得るためにはAl組成を低減できることに着目してなされたものであり、この第5の実施形態によれば、従来に比べて光ガイド層5のAl組成を低減できる。例えばGaAs半導体基板1上の赤色レーザでは、通常、バンドギャップ波長が570nm程度の $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ が用いられているが、第5の実施形態のGaPとGaAsとの間の格子定数を有する材料によると、Alを含まない $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ によりこのバンドギャップ波長が達成される。このため、635nm、650nm帯等の赤色レーザにおいても、活性領域をAlを含まない材料で形成でき、Alに起因する非発光再結合電流、表面再結合電流を低減できること等により、発光効率を向上させることができ、端面劣化しにくくなり、高出力でも安定動作が可能となる。

【0041】また、本発明の第6の実施形態では、上記第1、第2、第3、第4または第5の実施形態の半導体発光素子において、クラッド層はAsを含んでいる $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}P_vAs_{1-v}$ ($0 < \gamma \leq 1$, $0.5 < \beta < 1$, $0 < v < 1$)からなっている。

【0042】(100)面や(100)からの傾きが小さいGaP、GaAs、 $Ga_{0.4}As_{0.6}$ 基板上にMOCVD法等でAlGaInPを成長すると、成長表面にヒロックと呼ばれる丘状欠陥が多数観察された。これは、AlInP等のAl組成が大きい場合に特に顕著であった。このヒロックが成長層中に多数存在すると、レーザ、LED等のデバイス特性を悪くしたり、歩留まりを落とす原因となり、生産上好ましくない。成長中にAlまたはGaがドロップレットを形成し、これが核となってヒロックが形成される。本願の発明者らは、AlGaInP成長中にAsを含ませることでヒロックの密度を激減できることを見出した。図11(a)、(b)には、(100)面から[110]方向に2° offした $Ga_{0.4}As_{0.6}$ エピ基板上的のAlInP(図11(a))とAlInPAs(図11(b))の表面ノマルスキー(表面モフォロジー)写真を示す。ここで、図11(a)のAlInPと図11(b)のAlInPAsとは、750℃で成長した。AlInPAsのAs組成は約10%であった。ヒロックは成長条件にも依存し、AlInPの成長温度を700℃から750℃に上げることでヒロック密度を低減できたが、図11(a)に示すようにまだ多い。しかしながら、Asを添加することで、図11(b)に示すように、ヒロック密度を激減させることができた。成長温度を700℃に下げても同様にヒロック密度が激減した。これは、AlまたはGaのドロップレット形成が抑えられるためであると考えられる。As組成

がわずかでも効果があり、As組成が大きいほど、ヒロック密度の低減効果は大きかった。As添加によるヒロック低減効果により、デバイス特性の悪化、歩留まり低下を抑えることができる。

【0043】また、本発明の第7の実施形態では、上記第2、第3、第4、第5または第6の実施形態の半導体発光素子において、井戸層の格子定数は、クラッド層より大きく、圧縮歪を有しているものとなっている。

【0044】従来のGaAs基板上の635nm帯レーザでは、圧縮歪井戸層にするとバンドギャップが小さい材料（主にGaInP）となり、井戸幅が狭くなりすぎ、界面の影響が大きくなって良好な性能が得られ難いことから、引張り歪井戸層が用いられている。このため、偏光はTMモードとなっていた。これに対し、本発明の第6の実施形態では、バンドギャップが大きくなるので、クラッド層3より格子定数が大きい材料を井戸層に用いても、最適な厚さの量子井戸層を形成でき、高性能の圧縮歪635nm帯レーザ構造を容易に得ることができる。また、圧縮歪を有することで偏光はTEモードとなり、一般的な他の波長帯のレーザと同じになり光学系を変更しないで使用できるなど、応用上都合が良い。

【0045】また、本発明の第8の実施形態では、第1、第2、第3、第4、第5、第6または第7の実施形態の半導体発光素子において、半導体基板1はGaPAsからなり、この半導体基板1上にヘテロ接合部4が結晶成長されている。

【0046】この第8の実施形態では、GaPとGaAsとの間の格子定数となるGaPAsを、GaPまたはGaAs基板1上に厚く（例えば30μmの厚さに）成長し、実質的にGaPAs基板とみなせるものをVPE（気相成長）法等により成長可能である。そして、最上部をヘテロ接合部4（少なくともクラッド層3）の格子定数と同じにすることで、格子不整なく本材料系を成長することができる。

【0047】また、本発明の第9の実施形態では、第1、第2、第3、第4、第5、第6または第7の実施形態の半導体発光素子において、半導体基板1はGaAsまたはGaPからなり、図4に示すように、半導体基板1とクラッド層3との間に両者の格子不整を緩和する緩和バッファ層6を介してヘテロ接合部4が結晶成長されている。

【0048】この第9の実施形態では、GaAsまたはGaP基板1上に格子不整を緩和する緩和バッファ層6を介してヘテロ接合部4を形成することで、格子不整が緩和されてヘテロ接合部4を成長できる。また、一貫して同じ結晶成長装置で連続して成長を行なうことができ、一台の装置で済むので容易でありコスト的にメリットがある。

【0049】なお、第9の実施形態の半導体発光素子において、緩和バッファ層6は、その格子定数が半導体基

板1の格子定数から成長方向に徐々に変化してクラッド層3の格子定数に近づくグレーデッド層として構成できる。

【0050】このように、グレーデッド層を緩和バッファ層6として用いる場合には、格子緩和が徐々に起こるので、貫通転位がグレーデッド層より上層に成長することを防ぐことができ、ヘテロ接合部4の結晶性を低下させないで済む。

【0051】また、第9の実施形態の半導体発光素子において、緩和バッファ層6は、少なくとも2種類の格子定数の違う材料を交互に積層した歪超格子構造として構成することもできる。

【0052】このように、歪超格子構造を緩和バッファ層6として用いる場合には、格子緩和に伴う結晶欠陥をこの歪超格子構造内に閉じ込めることができ、ヘテロ接合部4の結晶性の低下を防ぐことができる。

【0053】また、第9の実施形態の半導体発光素子において、緩和バッファ層6は、クラッド層3の成長温度より低い温度で成長した低温バッファ層として構成することができる。

【0054】このように、低温バッファ層を緩和バッファ層6として用いる場合には、格子緩和に伴う結晶欠陥をこの低温バッファ層内に閉じ込めることができ、ヘテロ接合部4の結晶性の低下を防ぐことができる。

【0055】また、上記の各例において、緩和バッファ層6には、GaInPまたはGaPAsを用いることができる。

【0056】GaPAsまたはGaInPは三元材料であり制御が容易である。GaPAsを用いる場合、半導体基板1がGaP基板の時はGaPにAsを加えるだけで良く、また、半導体基板1がGaAs基板の時はGaAsにPを加えるだけで良く、制御しやすい。また、GaInPの場合は、蒸気圧が高いV族がPだけなので、特に歪超格子構造を成長するとき界面の制御がしやすい。

【0057】また、上記第8または第9の実施形態の半導体発光素子において、半導体基板1の面方位は、(100)面から[011]方向に0°から54.7°の範囲で傾いた面、または、(100)面から[0-11]方向に10°から54.7°の範囲で傾いた面、または、これらと等価な面であるのが良い。

【0058】すなわち、半導体基板1の面方位を、(100)面から[011]方向に0°から54.7°の範囲で傾いたものとするので、または、(100)面から[0-11]方向に10°から54.7°の範囲で傾いたものとするので、自然超格子の形成を抑制でき、自然超格子が形成された場合に比べて同じ組成比でワイドギャップとなるので短波長化に有利となる。また、端面型レーザは、通常、へき開面を共振器に用いる。基板1の面方位を上記の方向に傾けると、傾けた方向に対し

て垂直方向のへき開面は垂直とならないが、傾けた方向にへき開すると垂直面が得られ、レーザの共振器にできる。上記方向以外に傾けると、へき開面は垂直とならないので好ましくない。また、基板の面方位を(100)面から傾けることで、ヒロック密度を低減できる。これにより、デバイス特性の悪化、歩留まり低下を抑えることができる。

【0059】また、上記第8または第9の実施形態の半導体発光素子において、ヘテロ接合部が結晶成長されるに先立って、GaPAs基板表面が機械的研磨により平坦化され、または、緩和バッファ層成長後であってヘテロ接合部が結晶成長される前の表面が機械的研磨により平坦化されているのが良い。

【0060】GaPAs基板1の表面、または、緩和バッファ層6成長後の表面上には、通常、格子不整にかかわるクロスハッチ状の凹凸ができる。この凹凸はその上にヘテロ接合部4を成長した時の新たな結晶欠陥発生の起源となり得る。研磨により平坦にし、その上にヘテロ接合部4を成長することで、これを防ぐことができる。

【0061】また、第8または第9の実施形態の半導体発光素子において、半導体基板1と上記ヘテロ接合部4との間に、層の界面の上面が下面(基板側)より平坦である層を含むこともできる。

【0062】すなわち、GaPAs基板1の表面、または、緩和バッファ層6成長後の表面上には、通常、格子不整にかかわるクロスハッチ状の凹凸ができる。この凹凸は、その上にヘテロ接合部4を成長した時の新たな結晶欠陥発生の起源となり得る。このような凹凸を埋め込んで成長する層を含むと、その上層は平坦になり、これを防ぐことができる。

【0063】なお、この場合、層の界面の上面が下面(基板側)より平坦である層は、Seを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングしたGaInPとすることができる。

【0064】すなわち、本願の発明者は、Seを高濃度にドーピングしたGaInPは、凹凸を埋め込んで成長する性質を有していることを見出した。これにより、層の界面の上面が下面(基板側)より平坦となるので、ヘテロ接合部4を成長した時の凹凸を起源とする新たな結晶欠陥発生を防ぐことができる。

【0065】また、第9の実施形態の半導体発光素子において、緩和バッファ層6は、Seを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングしたGaInPであるのが良い。

【0066】すなわち、格子不整にかかわるクロスハッチ状の凹凸を発生させる起源となる緩和バッファ層6自体に、凹凸を埋め込んで成長する性質を有しているSeを高濃度にドーピングしたGaInPを用いることで、格子不整を緩和する効果、表面を平坦にする効果を併せもたせることができ、トータルの成長層の厚さを低減できる。

【0067】また、上述した各例の半導体発光素子にお

いて、ヘテロ接合部4は、有機金属気相成長法(MOCVD)または分子線エピタキシー法(MBE)により、これを成長させることができる。

【0068】すなわち、AlGaInP(As)系材料は、溶液から固相へのAlの偏析係数が大きく、組成制御の点から液層成長は困難である。また、ハロゲン輸送法による気相成長法(VPE)は、原料であるAlCl₃が石英反応管を腐食する問題があり困難である。一方、有機金属気相成長法(MOCVD)または分子線エピタキシー法(MBE)は非平衡性の高い成長方法であり、成長がIII族原料供給律則となっているので、これらの材料の成長には極めて有効であり容易に成長できる。

【0069】また、緩和バッファ層6についても、これを有機金属気相成長法(MOCVD)または分子線エピタキシー法(MBE)により、成長させることができる。

【0070】この場合には、ヘテロ接合部の結晶成長装置と同じ装置で連続して成長を行なうことができ、一台の装置で済むので、容易でありコスト的にメリットがある。

【0071】

【実施例】以下に本発明に係る実施例について説明する。なお、以下の実施例1～実施例7においては、半導体発光素子(半導体レーザ素子)の基本構成は、図5のようになっている。すなわち、各実施例ごとに材料や組成等を相違しているが、各実施例の基本構成は図5のものとなっている。従って、実施例1～実施例7では、便宜上、実施例1～実施例7の半導体発光素子が図5の基本構成のものとなっているとして説明する。なお、図5の半導体発光素子は、層構造としてはSCH-SQW構造である。

【0072】実施例1

実施例1では、まず(100)面から[011]方向に 15° オフしたGaAs基板11上に、MOCVD法により、Ga組成を0.5から0.7まで徐々に変化させSeを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングした膜厚が $2 \mu\text{m}$ のn-GaInPグレーデッドバッファ層12を積層し、その上に表面平坦化層としてSeを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングしたn-Ga_{0.7}In_{0.3}Pからなる膜厚が $1 \mu\text{m}$ の組成均一層13を成長し、格子不整合を緩和させる。Seをドーピングすることにより格子緩和に伴うクロスハッチ状の凹凸が低減された。実験によると、Seを高濃度($5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上が好ましい)にドーピングしたGaInPは凹凸を埋め込んで成長する性質を有していることがわかった。つまり、Seをドーピングしたn-Ga_{0.7}In_{0.3}P組成均一層13の界面の上面が下面(基板側)より平坦であった。平坦でない表面上にヘテロ接合部を成長すると、この凹凸を起源とする新たな結晶欠陥が発生していたが、平坦にすることで、これを防ぐことができた。グレーデッド層にSeを高濃度に添加したので表面平坦化の

効果が得られ表面平坦化層を薄くすることができた。

【0073】次に、GaPとGaAsとの間の格子定数であって $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ の格子定数と等しい $n-(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($y=1, \beta=0.7, v=1$) クラッド層14 (膜厚が $1\mu m$)、 $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($z=0.1, \gamma=0.7, u=1$) 光ガイド層15 (膜厚が $0.1\mu m$)、圧縮歪を有する $(Al_xGa_{1-x})_\alpha In_{1-\alpha}PtAs_{1-t}$ ($x=0, \alpha=0.6, t=1$) 単一量子井戸活性層16 (膜厚が $8nm$)、 $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($z=0.1, \gamma=0.7, u=1$) 光ガイド層17 (膜厚が $0.1\mu m$)、 $p-(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($y=1, \beta=0.7, v=1$) クラッド層18 (膜厚が $1\mu m$)、 $p-Ga_{0.7}In_{0.3}P$ キャップ層19 (膜厚が $0.1\mu m$)、 $p-GaAs$ コンタクト層20 (膜厚が $0.005\mu m$) を成長させた。ここで、クラッド層14, 18およびガイド層15, 17は、 $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ 組成均一層13に格子整合している。

【0074】そして、コンタクト層20上には、絶縁膜21としての SiO_2 とp側電極22とが形成され、また、基板11の裏面にはn側電極23が形成されている。この半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造として構成されているが、他の構造を用いることもできる。

【0075】この実施例1では、クラッド層14, 18および光ガイド層15, 17が従来のGaAs基板に格子整合する材料系よりもワイドギャップとなり、この構造により $600nm$ よりも短い波長 $595nm$ で発振する半導体レーザが得られた。そして、 $600nm$ よりも短い波長であるのかかわらず、GaAs基板上の従来の $635nm$ 帯レーザ等に用いられる光ガイド層に比べてAl組成を低減することができた。このため、Alに起因する非発光再結合電流が低減され、発光効率が向上した。また、表面再結合電流も低減され、端面光劣化のレベルも高くなり、高出力が得られるようになった。さらに、実施例1では量子井戸活性層16にGaInPを用いている。GaInPはGa組成を小さくすると格子定数が大きくなるとともにバンドギャップは小さくなる。Sandipら (Appl. Phys. Lett. 60, 1992, pp630~632) によるバンド不連続の見積もりを参考にすると、バンドギャップの変化は主に伝導帯側で起こり、価電子帯側のエネルギーはほとんど変化していない。つまり、組成を変えても価電子帯のエネルギーの変化は小さい。一方、GaInPへAlを添加すると、伝導帯エネルギーは大きくなり、価電子帯エネルギーは小さくなる。その変化は、価電子帯側の方が大きい。従来、GaAs基板上構造では、大きなAl組成のAlGaInPを光ガイド層にする必要があり、GaInP量子井戸層との間に大きな価電子帯側の

バンド不連続を有していた。つまり、伝導帯側のバンドは充分な大きさではなかった。本発明によれば、光ガイド層15, 17のAl組成を低減できるので、大きな伝導帯バンド不連続が得られる。これにより、従来AlGaInP系材料による赤色レーザで問題があった伝導帯側のバンド不連続が小さいためのキャリア (電子) オーバーフローを著しく改善することができ、低閾値で温度特性は良好であった。

【0076】また、実施例1において、クラッド層14, 18の組成は、活性層16よりもバンドギャップが大きく、Alを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1, 0.5 < \beta < 1, 0 < v \leq 1$) を用いることができる。光ガイド層15, 17は、バンドギャップがクラッド層14, 18よりも小さく活性層16よりも大きく格子定数がクラッド層14, 18と同じである $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($0 \leq z < 1, 0.5 < \gamma < 1, 0 < u \leq 1$) を用いることができる。また、実施例1では、活性層16は、単一量子井戸活性層を用いたが、多重量子井戸でも良い。また、クラッド層14, 18の β の値によって格子定数が変わるが、緩和バッファ層 (12, 13) の最上面の格子定数をクラッド層14, 18と同じになるように変えることで対応できる。

【0077】また、GaAs基板の面方位は、(100)面から[011]方向に 0° から 54.7° の範囲、または、(100)面から[011]方向に 10° から 54.7° の範囲で傾いていると自然超格子の形成を抑制できるので、バンドギャップの減少を防ぐことができ短波長化に有利である。また、端面型レーザは通常へき開面を共振器に用いる。基板11の面方位を上記の方向に傾けると、傾けた方向に対して垂直方向のへき開面は垂直とならないが、傾けた方向にへき開すると垂直面が得られレーザの共振器にできる。上記方向以外に傾けると、へき開面は垂直とならないので好ましくない。また、基板の面方位を(100)面から傾けることで、ヒロック密度を低減でき、これにより、デバイス特性の悪化、歩留まり低下を抑えることができる。また、実施例1では、格子緩和バッファ層12, 13とヘテロ接合部とをMOCVD法により1回で成長しており、1台の装置で済むので容易でありコスト的にメリットがある。また、図5の構造は、MBE法 (分子線エピタキシー) でも成長できる。ヘテロ接合部であるAlGaInP (As) 系材料は溶液から固相へのAlの偏析係数が大きく組成制御の点から液層成長は困難である。また、ハログン輸送法による気相成長法 (VPE) は原料であるAlClが石英反応管を腐食する問題があり困難である。一方、有機金属気相成長法 (MOCVD) または分子線エピタキシー法 (MBE) は非平衡性の高い成長方法であり、成長がIII族原料供給律則となっているので、これらの材料の成長には極めて有効であり容易に成長でき

る。実施例1では、半導体レーザについて説明したが、発光ダイオードにも応用できる。

【0078】実施例2

実施例2はAsを含んだ量子井戸活性層による635nm, 650nm等の赤色レーザへの応用例となっている。すなわち、実施例2では、量子井戸活性層にはAsが含まれている。実施例2では、まず(100)面から[011]方向に15° offしたGaAs基板11上に、MOCVD法により、Ga組成を0.5から0.7まで徐々に変化させ、Seを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブした膜厚が2μmのn-GaInPグレーデッドバッファ層12を積層し、その上にSeを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブしたn-Ga_{0.7}In_{0.3}Pからなる膜厚が1μmの組成均一層13を成長し、格子不整合を緩和させる。Seを高濃度にドーブすることにより格子緩和に伴うクロスハッチ状の凹凸が低減された。つまり、Seをドーブしたn-Ga_{0.7}In_{0.3}P組成均一層13の界面の上面が下面(基板側)より平坦であった。これにより、ヘテロ接合部を成長した時の凹凸を起源とする新たな結晶欠陥発生を防ぐことができる。

【0079】次に、GaPとGaAsとの間の格子定数であってGa_{0.7}In_{0.3}Pの格子定数と等しいn-(Al_yGa_{1-y})_βIn_{1-β}PvAs_{1-v}(y=0.7, β=0.7, v=1)クラッド層14(膜厚が1μm)、(Al_zGa_{1-z})_γIn_{1-γ}PuAs_{1-u}(z=0.1, γ=0.7, u=1)光ガイド層15(膜厚が0.1μm)、圧縮歪を有するAsが含まれる(AI_xGa_{1-x})_αIn_{1-α}PtAs_{1-t}(x=0, α=0.6, t=0.9)単一量子井戸活性層16(膜厚が8nm)、(Al_zGa_{1-z})_γIn_{1-γ}PuAs_{1-u}(z=0.1, γ=0.7, u=1)光ガイド層17(膜厚が0.1μm)、p-(Al_yGa_{1-y})_βIn_{1-β}PvAs_{1-v}(y=0.7, β=0.7, v=1)クラッド層18(膜厚が1μm)、p-Ga_{0.7}In_{0.3}Pキャップ層19(膜厚が0.1μm)、p-GaAsコンタクト層20(膜厚が0.005μm)を成長する。クラッド層14, 18および光ガイド層15, 17は、Ga_{0.7}In_{0.3}Pに格子整合している。

【0080】そして、コンタクト層20上には、絶縁膜21としてのSiO₂とp側電極22とが形成され、また、基板11の裏面にはn側電極23が形成されている。この半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造として構成されているが、他の構造を用いることもできる。

【0081】実施例2のクラッド層14, 18の格子定数では、AlGaInPの中でバンドギャップが小さいGaInPを用いても635nmを得るには歪みが1%を大きく越えてしまい結晶性が低下するので、井戸層16にAsを添加してバンドギャップを調整した。もちろ

ん必要な波長が得られるような構造(組成)ならAsを添加しなくても良い。

【0082】実施例2の構造により、波長635nmで発振する半導体レーザが得られた。また、圧縮歪量子井戸活性層16を用いているので、偏光はTEモードであった。他の波長帯のレーザの多くはTEモードなので応用上都合がよい。もちろん、井戸層が直接遷移の材料であれば、引張り歪量子井戸活性層を用いてもかまわない。直接遷移である引張り歪量子井戸層を用いるためにはクラッド層の格子定数を実施例2のものより大きくすることが望ましい。クラッド層14, 18および光ガイド層15, 17が従来のGaAs基板に格子整合する材料系よりワイドギャップとなり、バンド不連続が大きくなった結果、キャリアの閉じ込めは良好になった。また、圧縮歪の効果、量子井戸の効果の他に、ワイドギャップの材料を圧縮歪量子井戸層として用いることができるので、従来のGaAs基板に格子定数するクラッド層を用いた圧縮歪量子井戸層に比べて井戸幅は厚くなり、界面の悪影響が低減された。また、光ガイド層のIII族にしめるAl組成は0.07であり、従来より低減でき、Alに起因する非発光再結合電流が低減され、発光効率が向上した。また、表面再結合電流も低減され、端面光劣化のレベルも向上し、高出力が得られるようになった。

【0083】また、クラッド層14, 18の組成は、活性層16よりバンドギャップが大きく、Alを含んだ(AI_yGa_{1-y})_βIn_{1-β}PvAs_{1-v}(0<y≤1, 0.5<β<1, 0<v≤1)を用いることができる。また、光ガイド層15, 17は、バンドギャップがクラッド層14, 18より小さく活性層16より大きく格子定数がクラッド層と同じである(AI_zGa_{1-z})_γIn_{1-γ}PuAs_{1-u}(0≤z<1, 0.5<γ<1, 0<u≤1)を用いることができる。また、実施例2では、単一量子井戸活性層を用いたが、多重量子井戸でも良い。また、クラッド層14, 18のβの値によって格子定数が変わるが、格子緩和バッファ層の最上面の格子定数をクラッド層14, 18と同じになるように変えることで対応できる。

【0084】また、実施例2のように、GaAs基板11の面方位は(100)面から[011]方向に0°から54.7°の範囲、または、(100)面から[011]方向に10°から54.7°の範囲で傾いていると、自然超格子の形成を抑制できるので、バンドギャップの減少を防ぐことができ、短波長化に有利である。また、上記例では、格子緩和バッファ層12, 13とヘテロ接合部をMOCVD法により成長したが、MBE法(分子線エピタキシー)でも成長できる。

【0085】実施例3

実施例3が実施例2と違うところは格子緩和バッファ層12の材料である。すなわち、実施例3では、(10

21

0) 面から $[011]$ 方向に 15° オフした GaAs 基板11上に、MOCVD法により、P組成を0から0.4まで徐々に変化させ、Seをドーブした膜厚が2 μm の $n\text{-GaPAs}$ グレーデッド格子緩和バッファ層12を積層し、その上にSeをドーブした $n\text{-GaP}$ 0.4 $\text{As}_{0.6}$ からなる膜厚が1 μm の組成均一層13を成長し、格子不整合を緩和させた。すなわち、実施例1、実施例2では GaInP を格子緩和バッファ層に用いているが、実施例3では GaPAs を格子緩和バッファ層に用いている。他は実施例2と同じである。実施例3においても実施例2と同じ効果を得た。

【0086】実施例4

実施例4が実施例2と違うところは格子緩和バッファ層12の構造である。すなわち、実施例4では、(100)面から $[011]$ 方向に 15° オフした GaAs 基板11上に、MOCVD法により、図6に示すように、 GaAs 基板11に格子整合する $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ とクラッド層14の格子定数と同じである $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{P}$ とからなるSeを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブした n -歪超格子からなる膜厚が2 μm の格子緩和バッファ層 ($n\text{-GaInP}/\text{GaInP}$ 超格子バッファ層) 12を積層し、その上にSeを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブした $n\text{-Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{P}$ からなる1 μm の組成均一層13を成長し、格子不整合を緩和させた。他は実施例2と同じである。実施例4においても実施例2と同じ効果を得た。

【0087】実施例5

実施例5が実施例2と違うところは格子緩和バッファ層12の構造である。すなわち、実施例5では、(100)面から $[011]$ 方向に 15° オフした GaAs 基板11上に、MOCVD法により、クラッド層14の格子定数と同じである $\text{GaP}_{0.4}\text{As}_{0.6}$ からなるクラッド層14よりも低温で成長した膜厚が0.1 μm の n -低温格子緩和バッファ層 ($n\text{-GaPAs}$ 低温バッファ層) 12を積層し、その上にSeを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブした $n\text{-Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{P}$ からなる膜厚が2 μm の組成均一層13を成長し、格子不整合を緩和させた。他は実施例2と同じである。実施例5においても実施例2と同じ効果を得た。

【0088】実施例6

実施例6はAlを含まない光ガイド層による635 nm, 650 nm等の赤色レーザへの応用例となっている。実施例6では、まず(100)面から $[011]$ 方向に 15° オフした GaAs 基板11上に、MOCVD法により、Ga組成を0.5から0.7まで徐々に変化させ、Seを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブした膜厚が2 μm の $n\text{-GaInP}$ グレーデッドバッファ層12を積層し、その上にSeを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブした $n\text{-Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{P}$ からなる膜厚が1 μm の組成均一層13を成長し、格子不整合を緩和さ

22

せる。Seを高濃度にドーブすることにより、格子緩和に伴うクロスハッチ状の凹凸が低減された。つまり、Seをドーブした $n\text{-Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{P}$ 組成均一層13の界面の上面が下面(基板側)より平坦であった。これにより、ヘテロ接合部成長した時の凹凸を起源とする新たな結晶欠陥発生を防ぐことができる。

【0089】次に、 GaP と GaAs との間の格子定数であつて $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{P}$ の格子定数と等しい $n\text{-(Al}_y\text{Ga}_{1-y})_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}_v\text{As}_{1-v}$ ($y=0.7, \beta=0.7, v=1$) クラッド層14 (膜厚が1 μm)、Alを含まない ($\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z})_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{P}_u\text{As}_{1-u}$ ($z=0, \gamma=0.7, u=1$) 光ガイド層15 (膜厚が0.1 μm)、図7にその構造を示すように圧縮歪を有する ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}_t\text{As}_{1-t}$ ($x=0, \alpha=1, t=0.3$) 井戸層 (膜厚が8 nm) とAlを含まない ($\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z})_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{P}_u\text{As}_{1-u}$ ($z=0, \gamma=0.7, u=1$) 障壁層 (膜厚が10 nm) とが交互に3層積層された多重量子井戸活性層16、Alを含まない ($\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z})_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{P}_u\text{As}_{1-u}$ ($z=0, \gamma=0.7, u=1$) 光ガイド層17 (膜厚が0.1 μm)、 $p\text{-(Al}_y\text{Ga}_{1-y})_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}_v\text{As}_{1-v}$ ($y=0.7, \beta=0.7, v=1$) クラッド層18 (膜厚が1 μm)、 $p\text{-Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{P}$ キャップ層19 (膜厚が0.1 μm)、 $p\text{-GaAs}$ コンタクト層20 (膜厚が0.005 μm) を成長する。クラッド層14, 18および光ガイド層15, 17は $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{P}$ に格子整合している。

【0090】そして、コンタクト層20上には、絶縁膜21としての SiO_2 と p 側電極22とが形成され、また、基板11の裏面には n 側電極23が形成されている。この半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造として構成されているが、他の構造を用いることもできる。

【0091】この実施例6のクラッド層14, 18の格子定数では、 AlGaInP の中でバンドギャップが小さい GaInP を用いても650 nmを得るには歪みを大きくしなければならず、結晶性が低下するので、井戸層16にはAsを添加してバンドギャップを調整した。また、 GaInP はGa組成を小さくすると格子定数が大きくなるとともにバンドギャップは小さくなる。Sandipら (Appl. Phys. Lett. 60, 1992, pp630~632) によるバンド不連続の見積もりを参考にするとバンドギャップの変化は伝導帯側で起こり、価電子帯側のエネルギーはほとんど変化していない。つまり、Alフリーのワイドギャップ GaInP 光ガイド層とこれより格子定数が大きい圧縮歪 GaInP 量子井戸層とのヘテロ接合を作ると、バンド不連続はほぼ伝導帯側だけとなる。これにより、従来 AlGaInP 系材料による赤色レーザで問題であった伝導帯側のバンド不連続が小さいためのキャリア (電子) オーバーフローを著しく改善することができる。

しかし逆に、価電子帯側でホール閉じ込めが悪くなることが懸念される。ここで、GaInPへAs添加するとバンドギャップが小さくなるが、これは価電子帯側の変化の方が大きいので、ホールをも充分閉じ込められる構造を実現できる効果がある。

【0092】実施例6の構造により、波長650nmで発振する半導体レーザが得られた。偏光はTEモードであった。クラッド層14、18および光ガイド層15、17が従来のGaAs基板に格子整合する材料系よりワイドギャップとなりバンド不連続が大きくなった結果、キャリアの閉じ込めは良好になった。また、実施例6では、多重量子井戸構造としたので、キャリアをさらに十分に井戸層に閉じ込めることが可能となる。そして、圧縮歪の効果、量子井戸の効果の他にワイドギャップの材料を圧縮歪量子井戸層として用いることができるので、従来のGaAs基板に格子整合するクラッド層を用いた圧縮歪井戸層に比べて井戸幅は厚くなり、界面の悪影響が低減された。また、光ガイド層15、17および井戸層16にはAlを含まない構造としたので、Alに起因する非発光再結合電流が低減され、発光効率が向上した。また、表面再結合電流も低減され、端面光劣化のレベルも格段に向上し、高出力が得られるようになった。このため、高温高出力安定動作する赤色レーザが得られた。

【0093】クラッド層14、18の組成は、活性層16よりバンドギャップが大きくAlを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_{\beta}In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$ 、 $0.5 < \beta < 1$ 、 $0 < v \leq 1$)を用いることができる。また、クラッド層14、18の β の値によって格子定数が変わるが、格子緩和バッファ層12の最上面の格子定数をクラッド層14と同じになるように変えることで対応できる。また、実施例6では、障壁層にクラッド層14、18と同じ格子定数の障壁層を用いたが、井戸層の歪みが大きいときなどには歪組成とし、歪の方向を井戸層と反対方向とすることで、井戸層の歪みを補償し、良好な量子井戸構造を得ることができる。

【0094】また、実施例6のように、GaAs基板11の面方位は、(100)面から[011]方向に 0° から 54.7° の範囲、または、(100)面から[011]方向に 10° から 54.7° の範囲で傾いていると、自然超格子の形成を抑制できるので、バンドギャップの減少を防ぐことができ、同じ組成でもクラッド層14、18、光ガイド層15、17がワイドギャップになるので好ましい。また、実施例6では格子緩和バッファ層12、13とヘテロ接合部をMOCVD法により成長したが、MBE法(分子線エピタキシー)でも成長できる。

【0095】実施例7

実施例7はAlを含まない光ガイド層による635nm、650nm等の赤色レーザへの応用例となってい

る。実施例7では、まず(100)面から[011]方向に 15° offしたGaP基板11上に、MOCVD法により、Ga組成を1から0.78まで徐々に変化させ、Seを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングした膜厚が $2 \mu\text{m}$ のn-GaInPグレーデッドバッファ層12を積層し、その上にSeを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングしたn-Ga_{0.78}In_{0.22}Pからなる膜厚が $1 \mu\text{m}$ の組成均一層13を成長し、格子不整合を緩和させる。Seを高濃度にドーピングすることにより格子緩和に伴うクロスハッチ状の凹凸が低減された。つまり、Seをドーピングしたn-Ga_{0.78}In_{0.22}P組成均一層の界面の上面が下面(基板側)より平坦であった。これにより、ヘテロ接合部を成長した時の凹凸を起源とする新たな結晶欠陥発生を防ぐことができる。次に、GaPとGaAsとの間の格子定数であってGa_{0.78}In_{0.22}Pの格子定数と等しいn-(Al_yGa_{1-y}) _{β} In_{1- β} PvAs_{1-v} ($y=0.7$ 、 $\beta=0.78$ 、 $v=1$)クラッド層14(膜厚が $1 \mu\text{m}$)、Alを含まない(A_{1z}Ga_{1-z}) _{γ} In_{1- γ} PuAs_{1-u} ($z=0$ 、 $\gamma=0.78$ 、 $u=1$)光ガイド層15(膜厚が $0.1 \mu\text{m}$)、図7にその構造を示すように圧縮歪を有する(A_{1x}Ga_{1-x}) _{α} In_{1- α} PtAs_{1-t} ($x=0$ 、 $\alpha=1$ 、 $t=0.3$)圧縮歪量子井戸層16(膜厚が8nm)とAlを含まない(A_{1z}Ga_{1-z}) _{γ} In_{1- γ} PuAs_{1-u} ($z=0$ 、 $\gamma=0.78$ 、 $u=1$)障壁層(膜厚が10nm)とが交互に3層に積層された多重量子井戸活性層16、Alを含まない(A_{1z}Ga_{1-z}) _{γ} In_{1- γ} PuAs_{1-u} ($z=0$ 、 $\gamma=0.78$ 、 $u=1$)光ガイド層17(膜厚が $0.1 \mu\text{m}$)、p-(Al_yGa_{1-y}) _{β} In_{1- β} PvAs_{1-v} ($y=0.7$ 、 $\beta=0.78$ 、 $v=1$)クラッド層18(膜厚が $1 \mu\text{m}$)、p-Ga_{0.7}In_{0.3}Pキャップ層19(膜厚が $0.1 \mu\text{m}$)、p-GaPコンタクト層20(膜厚が $0.005 \mu\text{m}$)を成長する。クラッド層14、18および光ガイド層15、17はGa_{0.78}In_{0.22}Pに格子整合している。

【0096】そして、コンタクト層20上には、絶縁膜21としてのSiO₂とp側電極22とが形成され、また、基板11の裏面にはn側電極23が形成されている。この半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造として構成されているが、他の構造を用いることもできる。

【0097】実施例7のクラッド層14、18の格子定数では、AlGaInPの中でバンドギャップが小さいGaInPを用いても635nmを得るには歪みを大きくしなければならず、結晶性が低下するので、井戸層16にはAsを添加してバンドギャップを調整した。

【0098】実施例7の構造により波長635nmで発振する半導体レーザが得られた。偏光はTEモードであった。クラッド層14、18および光ガイド層15、17が従来のGaAs基板に格子整合する材料系よりワ

ドギャップとなりキャリアの閉じ込めは良好になった。そして、圧縮歪の効果、量子井戸の効果の他にワイドギャップの材料を圧縮歪量子井戸層として用いることができるので、従来のGaAs基板に格子整合するクラッド層を用いた圧縮歪井戸層に比べて井戸幅は厚くなり、界面の悪影響が低減された。また、光ガイド層15、17および井戸層16にはAlを含まない構造としたので、Alに起因する非発光再結合電流が低減され発光効率が向上した。また、表面再結合電流も低減され端面光劣化のレベルも格段に向上し高出力が得られるようになった。このため、高温高出力安定動作する赤色レーザが得られた。

【0099】クラッド層14、18の組成は、活性層16よりバンドギャップが大きく、Alを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$ 、 $0.5 < \beta < 1$ 、 $0 < v \leq 1$)を用いることができる。また、クラッド層14、18の β の値によって格子定数が変わるが、格子緩和バッファ層12、13の最上面の格子定数をクラッド層14と同じになるように変えることで対応できる。

【0100】また、実施例7のように、GaAs基板11の面方位は、(100)面から[011]方向に 0° から 54.7° の範囲、または、(100)面から[011]方向に 10° から 54.7° の範囲で傾いていると、自然超格子の形成を抑制できるので、バンドギャップの減少を防ぐことができ、同じ組成でもクラッド層14、18、光ガイド層15、17がワイドギャップになるので好ましい。また、実施例7では、格子緩和バッファ層12、13とヘテロ接合部をMOCVD法により成長したが、MBE法(分子線エピタキシー)でも成長で

【0101】実施例8

図8は実施例8の半導体発光素子(半導体レーザ素子)を示す図である。層構造としてはSCH-SQW構造である。実施例8は、GaPAs基板を用いた例である。すなわち、実施例8では、(100)面から[011]方向に 15° オフしたGaAs基板31上に、VPE法(気相成長)によりP組成を0から0.4まで徐々に変化したGaPAsグレーデッド層32を $30\mu m$ の膜厚で積層し、その上にGaPo.4As0.6からなる組成均一層33を $20\mu m$ の膜厚で成長し、このようにして成長させた成長層の厚さが例えば $50\mu m$ のGaPAs基板34を用いている。ここで、GaPAs基板34とは、VPE法等によりGaAsまたはGaP基板上に例えば $30\mu m$ 以上厚く成長したエピ基板のことである。成長層の表面は格子不整合が充分緩和されており、GaPAs基板といえる。

【0102】実施例8では、次に、MOCVD法により、Seをドーブした $n-Ga_{0.7}In_{0.3}P$ バッファ層35(膜厚が $1\mu m$)を成長し、表面を平坦化す

る。次に、GaPとGaAsとの間の格子定数であってGaPo.4As0.6の格子定数と等しい $n-(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($y=0.7$ 、 $\beta=0.7$ 、 $v=1$)クラッド層36(膜厚が $1\mu m$)、 $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($z=0.1$ 、 $\gamma=0.7$ 、 $u=1$)光ガイド層37(膜厚が $0.1\mu m$)、圧縮歪を有する $(Al_xGa_{1-x})_\alpha In_{1-\alpha}PrAs_{1-t}$ ($x=0$ 、 $\alpha=0.55$ 、 $t=1$)単一量子井戸活性層38(膜厚が $8nm$)、 $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($z=0.1$ 、 $\gamma=0.7$ 、 $u=1$)光ガイド層39(膜厚が $0.1\mu m$)、 $p-(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($y=0.7$ 、 $\beta=0.7$ 、 $v=1$)クラッド層40(膜厚が $1\mu m$)、 $p-Ga_{0.7}In_{0.3}P$ キャップ層41(膜厚が $0.1\mu m$)、 $p-GaAs$ コンタクト層42(膜厚が $0.05\mu m$)を成長する。クラッド層36、40および光ガイド層37、39は、GaPAs基板34に格子整合している。そして、コンタクト層42上には、絶縁膜43としての SiO_2 とp側電極44とが形成され、また、基板31の裏面にはn側電極45が形成されている。この半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造として構成されているが、他の構造を用いることもできる。

【0103】実施例8の構造により、波長 $635nm$ で発振する半導体レーザが得られた。偏光はTEモードであった。クラッド層36、40および光ガイド層37、39が従来のGaAs基板に格子整合する材料系よりワイドギャップとなり、キャリアの閉じ込めは良好になった。圧縮歪の効果、量子井戸の効果の他に、ワイドギャップの材料を圧縮歪量子井戸層として用いることができるので、従来のGaAs基板に格子整合するクラッド層を用いた圧縮歪井戸層に比べて井戸幅は厚くなり、界面の悪影響が低減された。また、従来より光ガイド層のAl組成が低減され、端面光劣化する光出力レベルが高くなった。この結果、高温、高出力安定動作するレーザが得られた。

【0104】クラッド層36、40の組成は活性層38よりバンドギャップが大きく、Alを含んだ $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}PvAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$ 、 $0.5 < \beta < 1$ 、 $0 < v \leq 1$)を用いることができる。光ガイド層37、39は、バンドギャップがクラッド層より小さく活性層より大きく格子定数がクラッド層と同じである $(Al_zGa_{1-z})_\gamma In_{1-\gamma}PuAs_{1-u}$ ($0 \leq z < 1$ 、 $0.5 < \gamma < 1$ 、 $0 < u \leq 1$)を用いることができる。また、実施例8では、単一量子井戸活性層を用いた多重量子井戸でも良い。また、クラッド層36、40の β の値によって格子定数が変わるが、GaPAs基板34の最上面の格子定数をクラッド層36、40と同じになるように変えることで対応できる。また、この実施例8のように、GaAs基板の面方位は

(100)面から[011]方向に0°から54.7°の範囲、または、(100)面から[011]方向に10°から54.7°の範囲で傾いていると、自然超格子の形成を抑制できるので、バンドギャップの減少を防ぐことができ、同じ組成でも、クラッド層、光ガイド層がワイドギャップになるので好ましい。

【0105】実施例9

図9は実施例9の半導体発光素子(半導体レーザ素子)を示す図である。実施例9はAlを含まない光ガイド層による635nm、650nm等の赤色レーザへの応用例である。層構造としてはSCH-MQW構造である。実施例9では、まず、(100)面から[011]方向に15°オフしたGaP基板51上に、VPE法(気相成長)により、P組成を1から0.55まで徐々に変化させたGaPAsグラデッド層52を30μmの膜厚で積層し、その上にGaP_{0.55}As_{0.45}からなる組成均一層53を20μmの膜厚で成長し、このように成長させた成長層の厚さが例えば50μmのGaPAs基板54を用いている。

【0106】そして、実施例9では、ヘテロ接合部を結晶成長する前に、クロスハッチ状の凹凸が表面にあったGaPAs基板54の表面を機械的研磨することにより平坦化(ラッピングした界面)にした。また研磨によるダメージを取るために表面を少し薬液によりエッチングすることで除去した。これにより、凹凸が起源であるヘテロ接合部成長した時の新たな結晶欠陥発生を防ぐことができる。

【0107】次に、MOCVD法により、n-Ga_{0.78}In_{0.22}Pからなる膜厚が0.3μmのバッファ層55、GaPとGaAsとの間の格子定数であってGa_{0.78}In_{0.22}Pの格子定数と等しいn-(Al_yGa_{1-y})_βIn_{1-β}PvAs_{1-v}(y=0.7、β=0.78、v=1)クラッド層56(膜厚が1μm)、Alを含まない(Al_zGa_{1-z})_γIn_{1-γ}PuAs_{1-u}(z=0、γ=0.78、u=1)光ガイド層57(膜厚が0.1μm)、圧縮歪を有する(Al_xGa_{1-x})_αIn_{1-α}PtAs_{1-t}(x=0、α=1、t=0.3)(膜厚が8nm)とAlを含まない(Al_zGa_{1-z})_γIn_{1-γ}PuAs_{1-u}(z=0、γ=0.78、u=1)障壁層(膜厚が10μm)とが交互に3層に積層された多重量子井戸活性層58、Alを含まない(Al_zGa_{1-z})_γIn_{1-γ}PuAs_{1-u}(z=0、γ=0.78、u=1)光ガイド層59(膜厚が0.1μm)、p-(Al_yGa_{1-y})_βIn_{1-β}PvAs_{1-v}(y=0.7、β=0.78、v=1)クラッド層60(膜厚が1μm)、p-Ga_{0.7}In_{0.3}Pキャップ層61(膜厚が0.1μm)、p-GaPコンタクト層62(膜厚が0.005μm)を成長する。クラッド層56、60およびガイド層57、59はGa_{0.78}In_{0.22}

Pに格子整合している。

【0108】そして、コンタクト層62上には、絶縁膜63としてのSiO₂とp側電極64とが形成され、また、基板51の裏面にはn側電極65が形成されている。この半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造として構成されているが、他の構造を用いることもできる。

【0109】実施例9のクラッド層56、60の格子定数では、AlGaInPの中でバンドギャップが小さいGaInPを用いても635nmを得るには歪みを大きくしなければならず、結晶性の低下が懸念されるので、井戸層58にはAsを添加してバンドギャップを調整した。

【0110】実施例9の構造により波長635nmで発振する半導体レーザが得られた。偏光はTEモードであった。クラッド層56、60および光ガイド層57、59が従来のGaAs基板に格子整合する材料系よりワイドギャップとなりキャリアの閉じ込めは良好になった。圧縮歪の効果、量子井戸の効果の他にワイドギャップの材料を圧縮歪量子井戸層として用いることができるので、従来のGaAs基板に格子整合するクラッド層を用いた圧縮歪井戸層に比べて井戸幅は厚くなり、界面の悪影響が低減された。また、光ガイド層57、59および井戸層58にはAlを含まない構造としたので、Alに起因する非発光再結合電流が低減され、発光効率が向上した。また、表面再結合電流も低減され、端面光劣化のレベルも向上し、高出力が得られるようになった。このため、高温高出力安定動作する赤色レーザが得られた。

【0111】クラッド層56、60の組成は活性層58よりバンドギャップが大きくAlを含んだ(Al_yGa_{1-y})_βIn_{1-β}PvAs_{1-v}(0<y≤1、0.5<β<1、0<v≤1)を用いることができる。また、クラッド層56、60のβの値によって格子定数が変わるが、格子緩和バッファ層の最上面の格子定数をクラッド層と同じになるように変えることで対応できる。

【0112】また、実施例9のように、GaPAs基板の面方位は(100)面から[011]方向に0°から54.7°の範囲、または、(100)面から[011]方向に10°から54.7°の範囲で傾いていると、自然超格子の形成を抑制できるので、バンドギャップの減少を防ぐことができ、同じ組成でもクラッド層、光ガイド層がワイドギャップになるので好ましい。また、実施例9では、ヘテロ接合部をMOCVD法により成長したが、MBE法(分子線エピタキシー)でも成長できる。

【0113】実施例10

図10は実施例10の半導体発光素子(半導体レーザ素子)を示す図である。実施例10も、層構造としてはSCH-SQW構造である。実施例10では、まず、(100)面から[110]方向に2°オフしたGaP

より、P組成を0から0.4まで徐々に変化させたGaPAsグレーデッド層72を30μmの膜厚で積層し、その上にGaPo.4As0.6からなる組成均一層73を20μmの膜厚で成長し、このように成長させた成長層の厚さが例えば50μmのGaPAs基板74を用いている。ここで、GaPAs基板とは、VPE法等によりGaAsまたはGaP基板上に例えば30μm以上厚く成長したエピ基板のことである。成長層の表面は格子不整合が充分緩和されており、GaPAs基板といえる。

【0114】次に、MOCVD法により、n-GaP0.4As0.6パツファ層75(膜厚が1μm)、GaPとGaAsとの間の格子定数であつてGaPo.4As0.6の格子定数と等しいAsを含むn-(Al_yGa_{1-y})_βIn_{1-β}PvAs_{1-v}(y=0.5、β=0.8、v=0.85)クラッド層76(膜厚が1μm)、(Al_zGa_{1-z})_γIn_{1-γ}PuAs_{1-u}(z=0、γ=0.7、u=1)光ガイド層77(膜厚が0.1μm)、圧縮歪を有する(A_{1x}Ga_{1-x})_αIn_{1-α}PtAs_{1-t}(x=0、α=0.65、t=0.9)単一量子井戸活性層78(膜厚が25nm)、(Al_zGa_{1-z})_γIn_{1-γ}PuAs_{1-u}(z=0、γ=0.7、u=1)光ガイド層79(膜厚が0.1μm)、p-(Al_yGa_{1-y})_βIn_{1-β}PvAs_{1-v}(y=0.5、β=0.8、v=0.85)クラッド層80(膜厚が1μm)、p-Ga0.7In0.3Pキャップ層81(膜厚が0.1μm)、p-GaPo.4As0.6コンタクト層82(膜厚が0.2μm)を成長する。クラッド層76、80および光ガイド層77、79は、GaPAs基板74に格子整合している。

【0115】そして、コンタクト層82上には、絶縁膜83としてのSiO₂とp側電極84とが形成され、また、基板71の裏面にはn側電極85が形成されている。この半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造として構成されているが、他の構造を用いることもできる。

【0116】実施例10の構造により、波長660nmで発振する半導体レーザが得られた。

【0117】実施例10では、GaPo.4As0.6基板71の面方位は(100)面から[110]方向に2°オフしており、わずかな傾きである。このような(100)面や(100)からの傾きが小さいGaP、GaAs、GaPo.4As0.6基板上に、MOCVD法でAlGaInPを成長すると、成長表面にヒロックが多数観察された。このヒロックは、AlInP等、Al組成が大きい場合には、GaInPに比べて特に顕著であった。このヒロックが成長層中に多数存在すると、レーザ、LED等のデバイス特性を悪くしたり、歩留まりを落とす原因となり、生産上好ましくない。特に、実施例10のようなレーザでは、クラッド層76、80は厚い

のでその影響は大きい。本願の発明者等は、AlGaInP成長中にAsを含ませることで、ヒロック密度を低減できることを見出した。これは、AlまたはGaのドロップレット形成が抑えられるためであると考えられる。これにより、デバイス特性の悪化、歩留まり低下を抑えることができた。また、光ガイド層77、79および井戸層78には、Alを含まない構造としたので、Alに起因する非発光再結合電流が低減され、発光効率が向上した。また、表面再結合電流も低減され、端面光劣化のレベルも格段に向上し、高出力が得られるようになった。このため、高温高出力安定動作する赤色レーザが得られた。

【0118】実施例10では、単一量子井戸活性層を用いたが、多重量子井戸でも良い。その場合、障壁層には(A_{1x2}Ga_{1-x2})_{α2}In_{1-α2}Pt₂As_{1-t2}(0≤x₂<1、0.5<α₂≤1、0≤t₂≤1)を用いることができる。また、光ガイド層77、79にAsを含んでいても良い。

【0119】上述した半導体レーザは、もちろん発光ダイオード(LED)に応用した場合にも効果がある。この場合、高輝度で温度特性の良好な可視LEDが得られる。

【0120】

【発明の効果】以上に説明したように、請求項1記載の発明によれば、半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じ込めるクラッド層とを有するヘテロ接合が形成されている半導体発光素子において、活性層は(A_{1x}Ga_{1-x})_αIn_{1-α}PtAs_{1-t}(0≤x<1、0<α≤1、0≤t≤1)からなり、クラッド層は活性層よりバンドギャップが大きく、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ(A_{1y}Ga_{1-y})_βIn_{1-β}PvAs_{1-v}(0<y≤1、0.5<β<1、0<v≤1)からなっているため、GaAs基板上に形成できるクラッド層材料よりバンドギャップが大きく、短波長化に有利である。また、活性層は(A_{1x}Ga_{1-x})_αIn_{1-α}PtAs_{1-t}(0≤x<1、0<α≤1、0≤t≤1)からなるため、クラッド層に対して歪みを有することもでき、さらに従来材料よりナローギャップにすることもできる。このため、従来より素子設計の幅が大きく広がり、600nmより短い波長のみならず長い波長の発光素子においても良好な特性を得ることができる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0121】また、請求項2記載の発明によれば、半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じ込めるクラッド層とを有するヘテロ接合が形成されている半導体発光素子において、活性層は(A_{1x}Ga_{1-x})_αIn

31

$1-x)_{\alpha} \text{P}_{1-t} \text{As}_{1-t} (0 \leq x < 1, 0 < \alpha \leq 1, 0 \leq t \leq 1)$ 単一量子井戸からなり、クラッド層は活性層よりバンドギャップが大きく、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(\text{Al}_y \text{Ga}_{1-y})_{\beta} \text{In}_{1-\beta} \text{PvAs}_{1-v} (0 < y \leq 1, 0.5 < \beta < 1, 0 < v \leq 1)$ からなり、活性層とクラッド層との間に、バンドギャップが活性層より大きくクラッド層より小さい $(\text{Al}_z \text{Ga}_{1-z})_{\gamma} \text{In}_{1-\gamma} \text{PuAs}_{1-u} (0 \leq z < 1, 0.5 < \gamma < 1, 0 < u \leq 1)$ からなる光ガイド層を有しており、クラッド層はGaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(\text{Al}_y \text{Ga}_{1-y})_{\beta} \text{In}_{1-\beta} \text{PvAs}_{1-v} (0 < y \leq 1, 0.5 < \beta < 1, 0 < v \leq 1)$ であり、GaAs基板に形成できるクラッド層材料よりバンドギャップが大きく短波長化に有利である。また、 $(\text{Al}_z \text{Ga}_{1-z})_{\gamma} \text{In}_{1-\gamma} \text{PuAs}_{1-u} (0 \leq z < 1, 0.5 < \gamma < 1, 0 < u \leq 1)$ からなる光ガイド層および $(\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x})_{\alpha} \text{In}_{1-\alpha} \text{P}_{1-t} \text{As}_{1-t} (0 \leq x < 1, 0 < \alpha \leq 1, 0 \leq t \leq 1)$ からなる単一量子井戸によりSCH構造を形成しているので、GaAs基板格子整合材料より少ないAl組成でワイドギャップが得られるようになり、従来に比べて光ガイド層のAl組成を低減でき、非発光再結合電流の低減、表面再結合電流の低減等により、発光効率を向上させることができ、レーザの場合、端面劣化しにくくなり、高出力でも安定動作が可能となる。また、クラッド層に対して歪みを有することもでき、さらに従来材料よりナローギャップにすることもできる。さらにGaInPはGa組成を小さくすると格子定数が大きくなるとともにバンドギャップは小さくなる。Sandip等 (Appl. Phys. Lett. 60, 1992, pp630~632) によるバンド不連続の見積もりを参考にすると、バンドギャップの変化は伝導帯側で起こり、価電子帯側のエネルギーはほとんど変化していない。つまり、組成を変えても価電子帯のエネルギーの変化は小さい。一方、GaInPへAlを添加すると、伝導帯エネルギーは大きくなり価電子帯エネルギーは小さくなる。その変化は価電子帯側の方が大きい。従来、GaAs基板上構造では、大きなAl組成のAlGaInPを光ガイド層にする必要があり、GaInP量子井戸層との間に大きな価電子帯側のバンド不連続を有していた。つまり、伝導帯側のバンド不連続は充分な大きさではなかった。これに対し、本発明によれば、光ガイド層のAl組成を低減できるので、大きな伝導帯バンド不連続が得られる。これにより従来AlGaInP系材料による赤色レーザで問題であった伝導帯側のバンド不連続が小さいためのキャリア（電子）オーバーフローを著しく改善することができる。このため、従来より素子設計の幅が大きく広がるので、600nmより短い波長のみならず600nmより長い波長の発光素子においても良好な特性を得ることができる。これによ

32

り、高温、高出力、安定動作する635nm, 650nm帯等赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0122】また、請求項3記載の発明によれば、半導体基板上に、光を発生する活性層と光を閉じ込めるクラッド層とを有するヘテロ接合が形成されている半導体発光素子において、活性層は井戸層と障壁層とで構成される量子井戸構造であり、井戸層は $(\text{Al}_{x1} \text{Ga}_{1-x1})_{\alpha1} \text{In}_{1-\alpha1} \text{P}_{1-t1} \text{As}_{1-t1} (0 \leq x1 < 1, 0 < \alpha1 \leq 1, 0 \leq t1 \leq 1)$ からなり、障壁層は $(\text{Al}_{x2} \text{Ga}_{1-x2})_{\alpha2} \text{In}_{1-\alpha2} \text{P}_{1-t2} \text{As}_{1-t2} (0 \leq x2 < 1, 0.5 < \alpha2 < 1, 0 \leq t2 \leq 1)$ からなり、クラッド層は活性層よりバンドギャップが大きくGaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(\text{Al}_y \text{Ga}_{1-y})_{\beta} \text{In}_{1-\beta} \text{PvAs}_{1-v} (0 < y \leq 1, 0.5 < \beta < 1, 0 < v \leq 1)$ からなり、活性層とクラッド層との間に、バンドギャップが活性層より大きくクラッド層より小さい $(\text{Al}_z \text{Ga}_{1-z})_{\gamma} \text{In}_{1-\gamma} \text{PuAs}_{1-u} (0 \leq z < 1, 0.5 < \gamma < 1, 0 < u \leq 1)$ からなる光ガイド層を有しており、クラッド層は、GaPとGaAsとの間の格子定数を有するAlを含んだ $(\text{Al}_y \text{Ga}_{1-y})_{\beta} \text{In}_{1-\beta} \text{PvAs}_{1-v} (0 < y \leq 1, 0.5 < \beta < 1, 0 < v \leq 1)$ であり、GaAs基板に形成できるクラッド層材料よりバンドギャップが大きく、短波長化に有利である。また、 $(\text{Al}_z \text{Ga}_{1-z})_{\gamma} \text{In}_{1-\gamma} \text{PuAs}_{1-u} (0 \leq z < 1, 0.5 < \gamma < 1, 0 < u \leq 1)$ からなる光ガイド層および $(\text{Al}_{x1} \text{Ga}_{1-x1})_{\alpha1} \text{In}_{1-\alpha1} \text{P}_{1-t1} \text{As}_{1-t1} (0 \leq x1 < 1, 0 < \alpha1 \leq 1, 0 \leq t1 \leq 1)$ からなる量子井戸と $(\text{Al}_{x2} \text{Ga}_{1-x2})_{\alpha2} \text{In}_{1-\alpha2} \text{P}_{1-t2} \text{As}_{1-t2} (0 \leq x2 < 1, 0 < \alpha2 \leq 1, 0 \leq t2 \leq 1)$ からなる障壁層によりSCH構造を形成しているので、従来に比べて光ガイド層のAl組成を低減でき、非発光再結合電流の低減、表面再結合電流の低減等により発光効率を向上させることができ、レーザの場合、端面劣化しにくくなり、高出力でも安定動作が可能となる。また、クラッド層に対して井戸層に歪みを有することもでき、障壁層の歪みの方向を井戸層と反対方向とすることで井戸層の歪みを補償して良好な量子井戸構造を得ることもできる。また、多重量子井戸構造とすることでキャリアを十分に井戸層に閉じ込めることが可能となる。また、従来材料よりナローギャップにすることもできる。さらに、GaInPは、Ga組成を小さくすると、格子定数が大きくなるとともにバンドギャップは小さくなる。Sandipら (Appl. Phys. Lett. 60, 1992, pp630~632) によるバンド不連続の見積もりを参考にすると、バンドギャップの変化は伝導帯側で起こり価電子帯側のエネルギーはほとんど変化していな

い。つまり、組成を変えても価電子帯のエネルギーの変化は小さい。一方、GaInPへAlを添加すると、伝導帯エネルギーは大きくなり価電子帯エネルギーは小さくなる。その変化は価電子帯側の方が大きい。従来、GaAs基板上構造では大きなAl組成のAlGaInPを光ガイド層にする必要があり、GaInP量子井戸層との間に大きな価電子帯側のバンド不連続を有していた。つまり、伝導帯側のバンド不連続は十分な大きさではなかった。これに対し、本発明によれば、光ガイド層のAl組成を低減できるので、大きな伝導帯バンド不連続が得られる。これにより、従来AlGaInP系材料による赤色レーザで問題であった伝導帯側のバンド不連続が小さいためのキャリア（電子）オーバーフローを著しく改善することができ、低閾値で温度特性は良好であった。このため、従来より素子設計の幅が大きく広がるので、600nmより短い波長のみならず、600nmより長い波長の発光素子においても、良好な特性を得ることができる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0123】また、請求項4記載の発明によれば、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、活性層はAsを含んでいる $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P_vAs_{1-v}$ ($0 \leq x < 1$ 、 $0 < \alpha \leq 1$ 、 $0 \leq t \leq 1$)からなっており、Asの添加はバンドギャップを小さくするので、格子定数がGaPに近く大きなバンドギャップであるクラッド層を用いた場合でも、635nm、650nm帯等の600nmより長波長の素子に対応できる。すなわち、従来のGaAs基板上の635nm、650nm帯の素子に比べて大きなバンドギャップのクラッド層となり、キャリアのオーバーフローが低減され、高温安定動作など良好な素子特性を得ることができる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0124】また、請求項5記載の発明によれば、請求項2乃至請求項4のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、光ガイド層はAlを含まない $Ga_yIn_{1-y}P_uAs_{1-u}$ ($0.5 < y < 1$ 、 $0 < u \leq 1$)からなっていることを特徴としている。すなわち、格子定数がGaAsより小さくなると、バンドギャップが大きくなり、同じバンドギャップの材料を得るためにはAl組成を低減できる。このため、従来に比べて光ガイド層のAl組成を低減できる。例えばGaAs基板上の赤色レーザでは、通常、バンドギャップ波長が570nm程度の $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ が用い

られているが、本発明のGaPとGaAsとの間の格子

定数を有する材料によると、Alを含まない $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ によりこのバンドギャップ波長が達成される。このため、635nm、650nm帯等の赤色レーザにおいても、活性領域をAlを含まない材料で形成でき、Alに起因する非発光再結合電流、表面再結合電流を低減できること等により、発光効率を向上させることができ、端面劣化しにくくなり、高出力でも安定動作が可能となる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0125】また、請求項6記載の発明によれば、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、クラッド層はAsを含んでいる $(Al_yGa_{1-y})_\beta In_{1-\beta}P_vAs_{1-v}$ ($0 < y \leq 1$ 、 $0.5 < \beta < 1$ 、 $0 < v < 1$)からなっており、AlGaInP成長中にAsを含ませることでヒロックの密度を激減できるので、デバイス特性の悪化、歩留まり低下を抑えることができる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短かい波長で発振する可視半導体レーザや、高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0126】また、請求項7記載の発明によれば、請求項2乃至請求項6のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、井戸層の格子定数は、クラッド層より大きく、圧縮歪を有していることを特徴としている。従来のGaAs基板上の635nm帯レーザでは、圧縮歪井戸層にするとバンドギャップが小さい材料（主にGaInP）となり、井戸幅が狭くなりすぎ、界面の影響が大きくなって良好な性能が得られ難いことから、引張り歪井戸層が用いられている。このため、偏光はTMモードとなっていた。これに対し、本発明によれば、バンドギャップが大きくなるので、クラッド層より格子定数が大きい材料を井戸層に用いても、最適な厚さの量子井戸層を形成でき、高性能の圧縮歪635nm帯レーザ構造を容易に得ることができる。また、圧縮歪を有することで偏光はTEモードとなり、一般的な他の波長帯のレーザと同じになり、光学系を変更しないで使用できるなど、応用上都合が良い。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0127】また、請求項8記載の発明によれば、請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、半導体基板はGaPAsからなり、該半導体基板上にヘテロ接合部が結晶成長されることを特徴としている。GaPとGaAsとの間の格子定数となるG

a P A s を、G a P または基板上に厚く（例えば 30 μ m の厚さに）成長し、実質的に G a P A s 基板とみなせるものを V P E（気相成長）法等により成長可能である。そして、最上部をヘテロ接合部（少なくともクラッド層）の格子定数と同じにすることで、格子不整なく本材料系を成長することができる。これにより、高温、高出力、安定動作する 635 nm、650 nm 帯等の赤色半導体レーザ、室温において 600 nm より短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0128】また、請求項 9 記載の発明によれば、請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、半導体基板は G a A s または G a P からなり、半導体基板とクラッド層との間に、両者の格子不整を緩和する緩和バッファ層を介してヘテロ接合部が結晶成長されており、G a A s または G a P 基板上に格子不整を緩和する緩和バッファ層を介してヘテロ接合部を形成することで、格子不整が緩和されてヘテロ接合部を成長できる。また、一貫して同じ結晶成長装置で連続して成長を行なうことができ、一台の装置で済むので容易でありコスト的にメリットがある。これにより、高温、高出力、安定動作する 635 nm、650 nm 帯等の赤色半導体レーザ、室温において 600 nm より短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0129】また、請求項 10 記載の発明によれば、請求項 9 記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、その格子定数が半導体基板の格子定数から成長方向に徐々に変化してクラッド層の格子定数に近づくグレーデッド層からなっており、グレーデッド層を緩和バッファ層として用いることで格子緩和が徐々に起こるので、貫通転位がグレーデッド層より上層に成長することを防ぐことができ、ヘテロ接合部の結晶性を低下させないで済む。これにより、高温、高出力、安定動作する 635 nm、650 nm 帯等の赤色半導体レーザ、室温において 600 nm より短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0130】また、請求項 11 記載の発明によれば、請求項 9 記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、少なくとも 2 種類の格子定数の違う材料を交互に積層した歪超格子構造からなっており、歪超格子構造を緩和バッファ層として用いることで、格子緩和に伴う結晶欠陥をこの歪超格子構造内に閉じ込めることができ、ヘテロ接合部の結晶性の低下を防ぐことができる。これにより、高温、高出力、安定動作する 635 nm、650 nm 帯等の赤色半導体レーザ、室温において 600 nm より短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0131】また、請求項 12 記載の発明によれば、請

求項 9 記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層はクラッド層の成長温度より低い温度で成長した低温バッファ層からなっており、低温バッファ層を緩和バッファ層として用いることで、格子緩和に伴う結晶欠陥をこの低温バッファ層内に閉じ込めることができ、ヘテロ接合部の結晶性の低下を防ぐことができる。これにより、高温、高出力、安定動作する 635 nm、650 nm 帯等の赤色半導体レーザ、室温において 600 nm より短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0132】また、請求項 13 記載の発明によれば、請求項 9 乃至請求項 12 のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、G a I n P または G a P A s からなることを特徴としている。G a P A s または G a I n P は三元材料であり、制御が容易である。G a P A s を用いる場合、半導体基板が G a P 基板の時は G a P に A s を加えるだけで良く、また、半導体基板が G a A s 基板の時は G a A s に P を加えるだけで良く、制御しやすい。また、G a I n P の場合は、蒸気圧が高い V 族が P だけなので、特に歪超格子構造を成長するとき界面の制御がしやすい。これにより、高温、高出力、安定動作する 635 nm、650 nm 帯等の赤色半導体レーザ、室温において 600 nm より短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0133】また、請求項 14 記載の発明によれば、請求項 8 または請求項 9 記載の半導体発光素子において、半導体基板の面方位は、(100)面から[011]方向に 0° から 54.7° の範囲で傾いた面、または、(100)面から[0-11]方向に 10° から 54.7° の範囲で傾いた面、または、これらと等価な面となっており、半導体基板の面方位が (100)面から [011]方向に 0° から 54.7° の範囲、または、(100)面から [0-11]方向に 10° から 54.7° の範囲で傾いているので、自然超格子の形成を抑制でき、自然超格子が形成された場合に比べて同じ組成比でワイドギャップとなるので短波長化に有利となる。また、端面型レーザは、通常、へき開面を共振器に用いる。基板の面方位を上記の方向に傾けると、傾けた方向に対して垂直方向のへき開面は垂直とならないが、傾けた方向にへき開すると垂直面が得られ、レーザの共振器にできる。上記方向以外に傾けると、へき開面は垂直とならないので好ましくない。また、基板の面方位を (100)面から傾けることで、ヒロック密度を低減でき、これにより、デバイス特性の悪化、歩留まり低下を抑えることができる。これにより、高温、高出力、安定動作する 635 nm、650 nm 帯等の赤色半導体レーザ、室温において 600 nm より短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0134】また、請求項15記載の発明によれば、請求項8または請求項9記載の半導体発光素子において、ヘテロ接合部が結晶成長されるに先立って、GaPAs基板表面が機械的研磨により平坦化され、または、緩和バッファ層成長後であってヘテロ接合部が結晶成長される前の表面が機械的研磨により平坦化されていることを特徴としている。GaPAs基板の表面、または、緩和バッファ層成長後の表面上には、通常、格子不整にかかわるクロスハッチ状の凹凸ができる。この凹凸はその上にヘテロ接合部を成長した時の新たな結晶欠陥発生の起源となり得る。研磨により平坦にし、その上にヘテロ接合部を成長することで、これを防ぐことができる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0135】また、請求項16記載の発明によれば、請求項8または請求項9記載の半導体発光素子において、半導体基板とヘテロ接合部との間に、層の界面の上面が下面(基板側)よりも平坦である層を含むことを特徴としている。GaPAs基板の表面、または、緩和バッファ層成長後の表面上には、通常、格子不整にかかわるクロスハッチ状の凹凸ができる。この凹凸は、その上にヘテロ接合部成長した時の新たな結晶欠陥発生の起源となり得る。このような凹凸を埋め込んで成長する層を含むと、その上層は平坦になり、これを防ぐことができる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0136】また、請求項17記載の発明によれば、請求項16記載の半導体発光素子において、層の界面の上面が下面(基板側)より平坦である層は、Seを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブしたGaInPであることを特徴としている。本願の発明者は、Seを高濃度にドーブしたGaInPは凹凸を埋め込んで成長する性質を有していることを見出した。これにより、層の界面の上面が下面(基板側)より平坦となるので、ヘテロ接合部を成長した時の凹凸を起源とする新たな結晶欠陥発生を防ぐことができる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0137】また、請求項18記載の発明によれば、請求項9記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、Seを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーブしたGaInPであることを特徴としており、格子不整にかかわるクロスハッチ状の凹凸を発生させる起源となる緩和バ

ッファ層自体に、凹凸を埋め込んで成長する性質を有しているSeを高濃度にドーブしたGaInPを用いることで、格子不整を緩和する効果、表面を平坦にする効果を併せもたせることで、トータルの成長層の厚さを低減できる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0138】また、請求項19記載の発明によれば、請求項1乃至請求項18のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、ヘテロ接合部は有機金属気相成長法(MOCVD)または分子線エピタキシー法(MBE)により成長されたものであることを特徴としている。AlGaInP(As)系材料は、溶液から固相へのAlの偏析係数が大きく、組成制御の点から液層成長は困難である。また、ハロゲン輸送法による気相成長法(VPE)は、原料であるAlCl₃が石英反応管を腐食する問題があり困難である。一方、有機金属気相成長法(MOCVD)または分子線エピタキシー法(MBE)は非平衡性の高い成長方法であり、成長がIII族原料供給律則となっているので、これらの材料の成長には極めて有効であり容易に成長できる。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【0139】また、請求項20記載の発明によれば、請求項19記載の半導体発光素子において、緩和バッファ層は、有機金属気相成長法(MOCVD)または分子線エピタキシー法(MBE)により成長されたものであるため、ヘテロ接合部の結晶成長装置と同じ装置で連続して成長を行なうことができ、一台の装置で済み、容易でありコスト的にメリットがある。これにより、高温、高出力、安定動作する635nm、650nm帯等の赤色半導体レーザ、室温において600nmより短い波長で発振する可視半導体レーザや高発光効率の可視発光ダイオードなどを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】格子定数とバンドギャップエネルギーとの関係を示す図である。

【図2】本発明に係る半導体発光素子の構成例を示す図である。

【図3】本発明に係る半導体発光素子の構成例を示す図である。

【図4】本発明に係る半導体発光素子の構成例を示す図である。

【図5】本発明の実施例1～実施例7の半導体発光素子の基本構成を示す図である。

【図6】実施例4の超格子バッファ層を示す図である。

【図7】実施例6, 実施例7の活性層を示す図である。

【図8】本発明の実施例8の半導体発光素子の構成を示す図である。

【図9】本発明の実施例9の半導体発光素子の構成を示す図である。

【図10】本発明の実施例10の半導体発光素子の構成を示す図である。

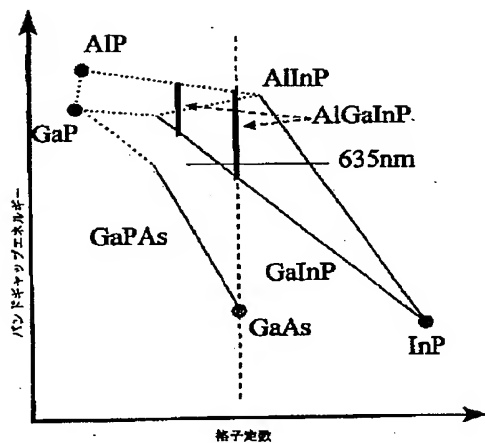
【図11】(100)面から[110]方向に2° off したGaP_{0.4}As_{0.6}エピ基板上的AlInPとAlInPAsの表面ノマルスキー(表面モフォロジー)写真 10を示す図である。

【符号の説明】

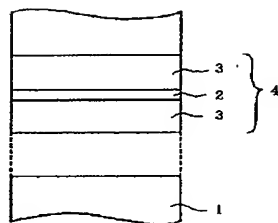
- 1 半導体基板
- 2 活性層
- 3 クラッド層
- 4 ヘテロ接合部
- 5 光ガイド層
- 6 緩和バッファ層
- 11 半導体基板
- 12 グレーデッドバッファ層, 超格子バッファ層, 低温バッファ層
- 13 組成均一層
- 14, 18 クラッド層
- 15, 17 光ガイド層
- 16 活性層
- 19 キャップ層
- 20 コンタクト層

- 21 SiO₂
- 22 p側電極
- 23 n側電極
- 11 半導体基板
- 12 グレーデッドバッファ層, 超格子バッファ層, 低温バッファ層
- 13 組成均一層
- 14, 18 クラッド層
- 15, 17 光ガイド層
- 16 活性層
- 19 キャップ層
- 20 コンタクト層
- 21 SiO₂
- 22 p側電極
- 23 n側電極
- 11 半導体基板
- 12 グレーデッドバッファ層, 超格子バッファ層, 低温バッファ層
- 13 組成均一層
- 14, 18 クラッド層
- 15, 17 光ガイド層
- 16 活性層
- 19 キャップ層
- 20 コンタクト層
- 21 SiO₂
- 22 p側電極
- 23 n側電極

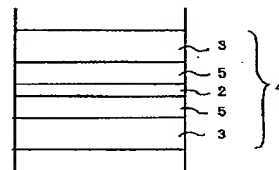
【図1】



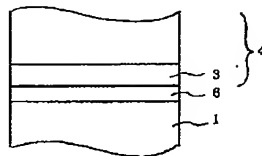
【図2】



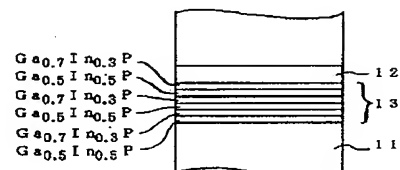
【図3】



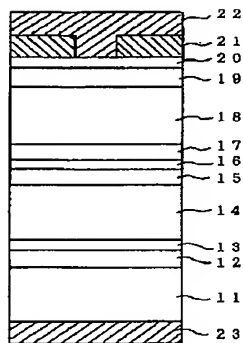
【図4】



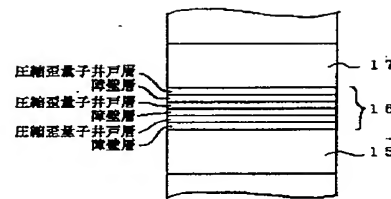
【図6】



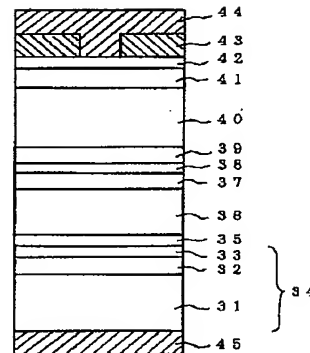
【図 5】



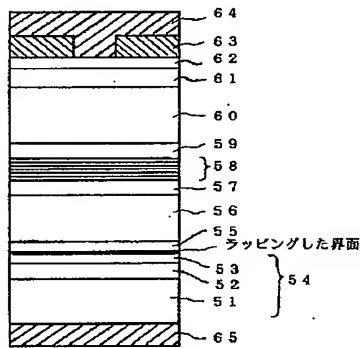
【図 7】



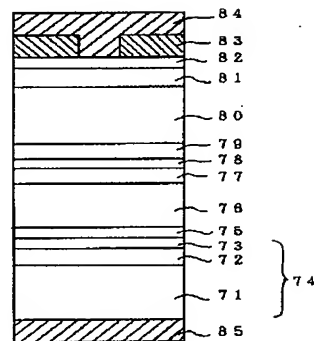
【図 8】



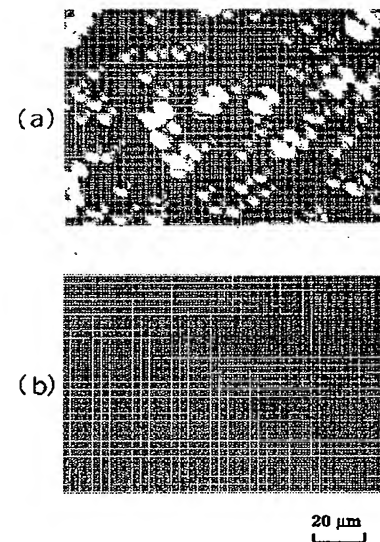
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72) 発明者 軸谷 直人
東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式
会社リコー内

F ターム(参考) 5F073 AA45 AA55 AA73 AA74 CA13
CA20 CB02 CB07 CB08 CB09
EA06 EA07 EA22 EA23 EA24
EA28